

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA – BARCELONATECH
OPE – ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN Y DE EMPRESA (ASPECTOS TÉCNICOS, JURÍDICOS
Y ECONÓMICOS EN PRODUCCIÓN)

Dirección de Operaciones. Proyectos singulares - I

DIRECCIÓN DE OPERACIONES 240EO024 – Máster Universitario en Ingeniería de Organización
(240MUEO) - ETSEIB

Joaquín Bautista · Rocío Alfaro

OPE-PROTHIUS – OPE-MSc.2018/03 (20180211) - <http://futur.upc.edu/OPE> - www.prothius.com -
Departamento de Organización de Empresas – ETSEIB · UPC



PROTHIUS
Càtedra Organització Industrial

DO' 18 – Pro (I) 0
J. Bautista, R. Alfaro

Contenido (1)

- Proyecto
 - Antecedentes
 - Definición
 - Ejemplos
 - Ciclo de vida
- Programación de actividades
 - Preliminares
 - Historia y genealogía
- Actividades. Atributos
- Restricciones
 - Causas
 - Tipología
 - Nomenclatura
 - Formalización
- Soluciones. Terminología
- Problemas. Tipología



Contenido (2)

- Problemas potenciales
 - Definición y datos
 - Objetivo e incógnitas
 - Resultados
- Representación problemas potenciales
 - Diagrama de Roy
 - Diagrama CPM-PERT
 - Diagrama de Gantt
- Ejemplo 1
 - Datos
 - Diagrama de Roy
 - Diagrama CPM-PERT
 - Diagrama de Gantt
 - Curvas de carga
 - Calendario de costes de ejecución

- Bautista, J.; Companys, R.; Corominas, A. (1998) Gestió de projectes. Editorial UOC, BCN. ISBN: 9788495131003

- Companys, R.; Corominas, A. (1998) Organización de la producción I. Diseño de sistemas productivos 2. Capítulo 7. Edicions UPC. BCN



PROTHIUS
Càtedra Organització Industrial

Proyecto. Antecedentes

-3500	Mesopotamia
-3100	Egipto
-438	Atenas
-336	Macedonia
-168	Roma
1459	Occidente
1859	Suez
1953	Holanda
1958	NASA
2012	Curiosity



Proyecto. Definición

Proyecto es un esfuerzo temporal emprendido para crear un bien o servicio único

- Un proyecto está compuesto por un conjunto de actividades orientadas a conseguir el producto del proyecto.
- Un proyecto se lleva a cabo progresivamente con el despliegue de actividades.
- Las actividades de un proyecto están sujetas a restricciones temporales, espaciales y de disponibilidad de recursos.
- Los recursos requeridos por un proyecto son de distinta naturaleza: Recursos humanos, recursos materiales, recursos financieros y conocimiento.
- Obviamente, la limitación de cualquier recurso requerido por un proyecto afecta a su desarrollo y a su duración.

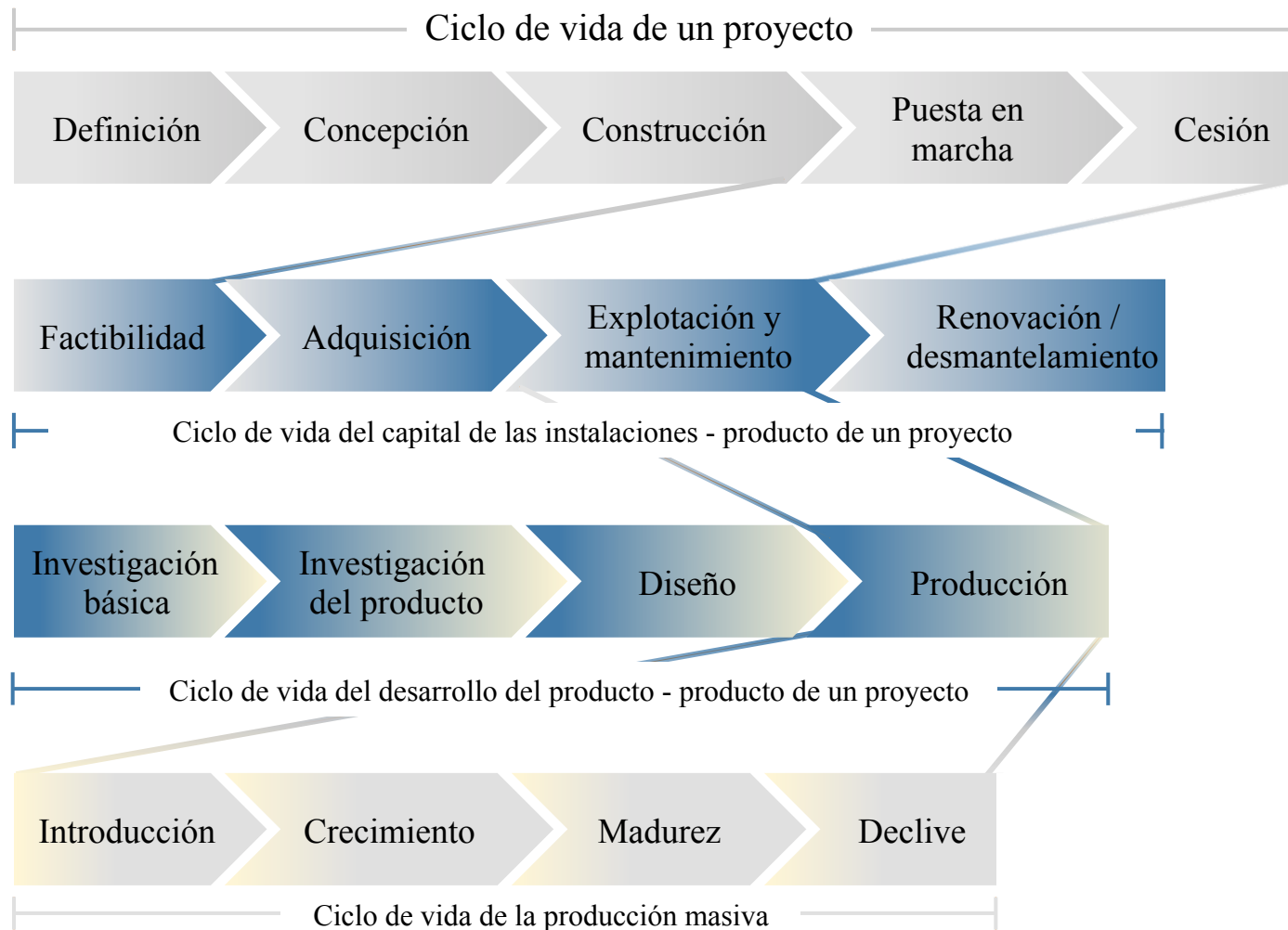


Proyecto. Ejemplos

- Estación espacial, satélite.
- Obras civiles: canal, puente, trasvase, presa, puerto, aeropuerto, vías.
- Estadio deportivo para JJOO.
- Central eléctrica: nuclear, combustible fósil, hidráulica.
- Prototipo: avión, buque, automóvil.
- Planta de fabricación: automoción, productos químicos.
- Hospital.
- Vacuna.
- Investigación.
- Ley.



Proyecto. Ciclo de vida



Programación de actividades. Preliminares

Objetivo:

- Estudio sobre el planteo, despliegue, seguimiento y control correspondiente a la realización de un proyecto.

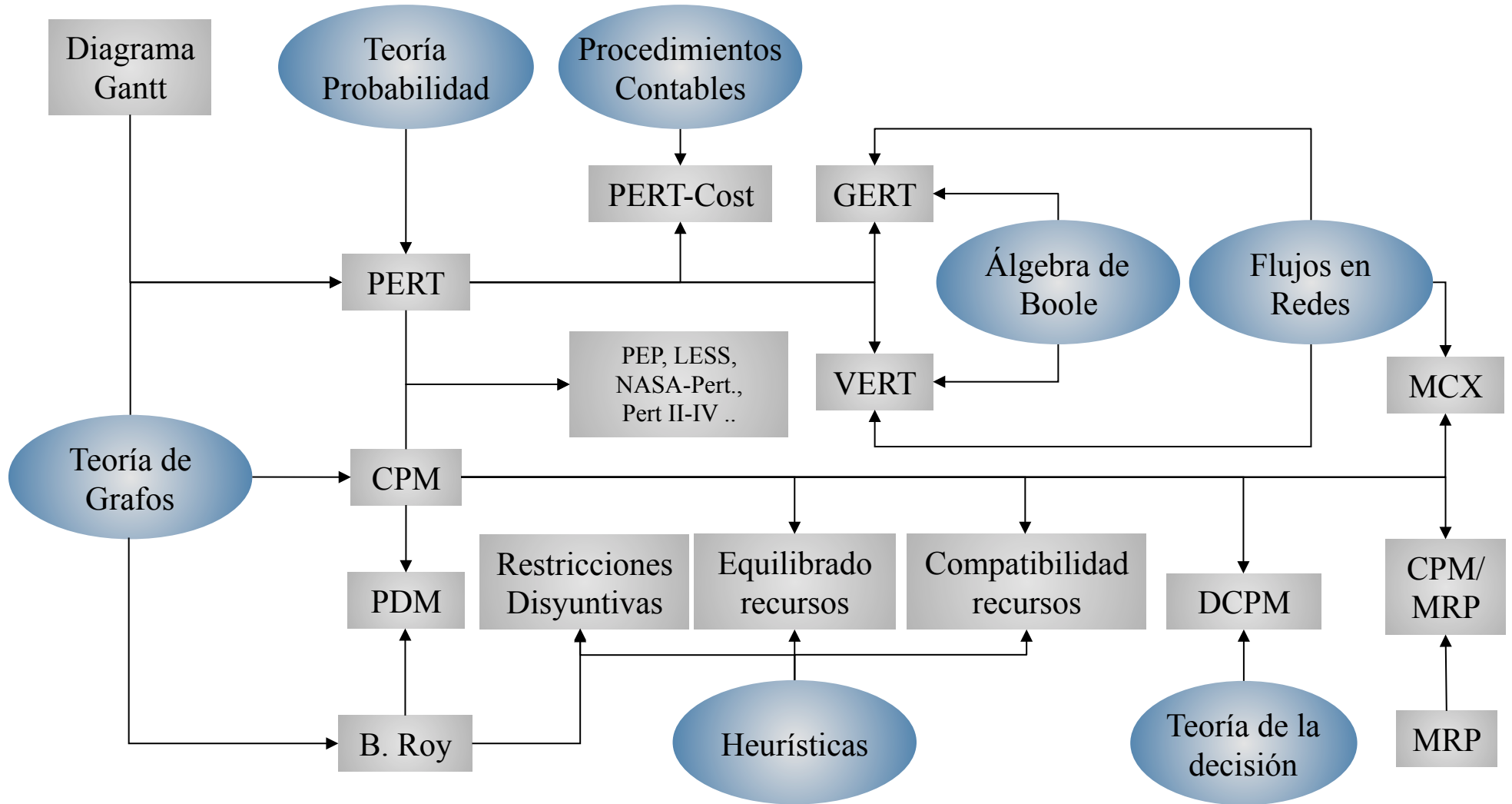
Hipótesis:

- El proyecto se descompone en actividades a las que se asocia una duración y unos requerimientos de recursos.
- Las actividades están sujetas a restricciones de orden, tiempo, disponibilidad de recursos e incompatibilidad.

Resultados (Programa):

- *Calendario de realización de las actividades:* fechas de inicio y finalización de las actividades.
- *Asignación de recursos a las actividades:* modalidad para realizar cada actividad entre las posibles, en función de conocimientos y disponibilidad de recursos.

Programación de actividades. Historia y genealogía



Actividades. Atributos

Atributos Identificación:

- Código
- Descripción
- Tipología (agregaciones y vinculaciones)
- Ejecutor (responsable)

Atributos temporales:

- Duración estándar
- Fechas *previstas* y *reales* de inicio y de finalización
- Holguras y priorizaciones

Atributos de requerimiento de recursos:

- Tipo de recurso
- Nivel de utilización

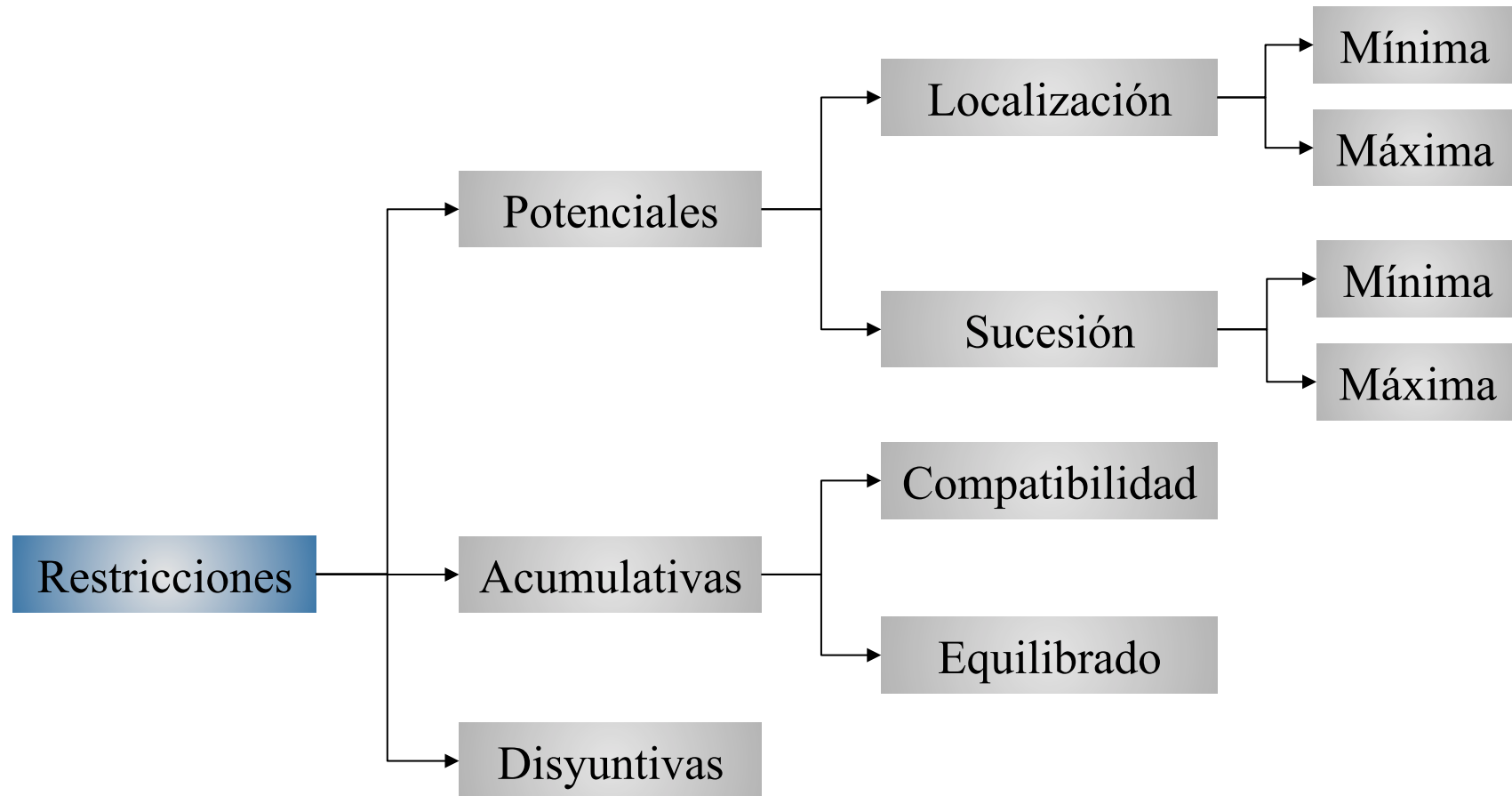


Restricciones. Causas

- Conocimientos tecnológicos
- Orden de ejecución natural de actividades
- Simultaneidad incompatible de actividades
- Fechas de lanzamiento y vencimiento naturales
- Disponibilidad de RRHH
- Grado de calificación de RRHH
- Régimen laboral
- Disponibilidad y calidad de materiales
- Disponibilidad de instrumentación y de equipos
- Aspectos comerciales
- Condiciones meteorológicas
- Otras



Restricciones. Tipología



Restricciones. Nomenclatura (1)

Restricciones Potenciales (temporales):

- J, I Conjunto de tareas ($j = 1, \dots, |J|$), ($i = 1, \dots, |I|$)
- p_j Tiempo de proceso de la tarea j ($j = 1, \dots, |J|$).
- $i \rightarrow j, (i, j)$ Restricción de precedencia inmediata entre las actividades i y j .
- P Conjunto de restricciones de precedencia inmediata.
- P_j, P_j^* Conjuntos de precedentes de j ($j = 1, \dots, |J|$) inmediatas y transitivas.
- F_j, F_j^* Conjuntos de siguientes de j ($j = 1, \dots, |J|$) inmediatas y transitivas.
- s_j, e_j Instantes de inicio y finalización de la tarea j .
- $d_{ij}^{\min}, d_{ij}^{\max}$ Plazos mínimo y máximo entre los instantes de inicio de i y j .
- $d_{0j}^{\min}, d_{0j}^{\max}$ Plazos mínimo y máximo entre los instantes de inicio del proyecto y de la actividad j .

Restricciones. Nomenclatura (2)

Restricciones acumulativas y disyuntivas (recursos):

- T Duración del proyecto.
- $K(t)$ Conjunto de recursos renovables en el instante t ($t=1,\dots,T$).
- $R_k(t)$ Nivel de disponibilidad en el instante t ($t=1,\dots,T$) del recurso renovable $k \in K(t)$
- $r_k(t)$ Tasa de utilización del recurso renovable k en el instante t ($t=1,\dots,T$).
- $r_{j,k}$ Tasa de utilización del recurso renovable k por parte de la actividad $j \in J$
- $A(t)$ Conjunto de actividades que se están ejecutando en el instante t ($t=1,\dots,T$), $A(t) \subseteq J$
- $w_k(t)$ Sobrecarga del recurso k en el instante t .
- W_k Sobrecarga global del recurso k a lo largo del proyecto.

Relaciones :

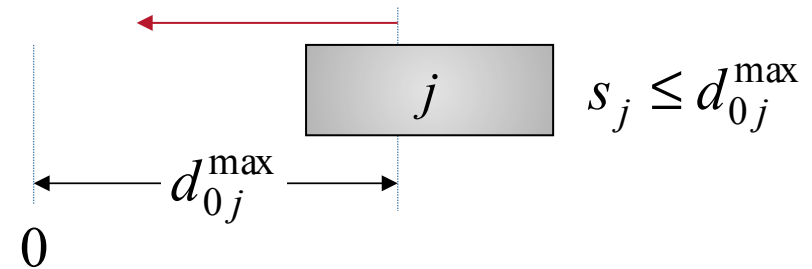
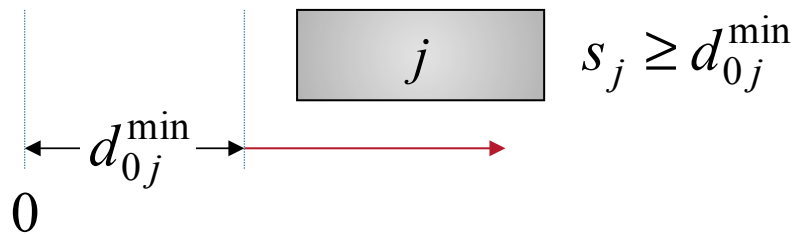
$$r_k(t) = \sum_{j \in A(t)} r_{j,k} ; w_k(t) = \max\{0, r_k(t) - R_k(t)\} \quad \forall t = 1, \dots, T \wedge \forall k \in K(t); W_k = \sum_{t=1}^T w_k(t)$$



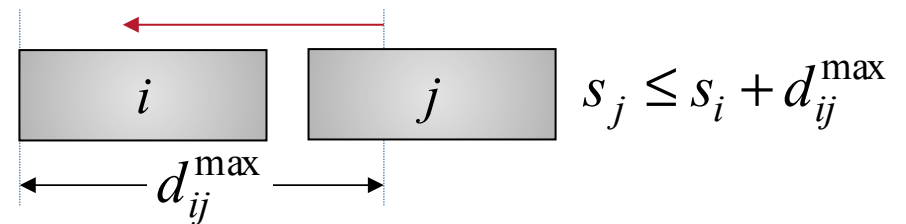
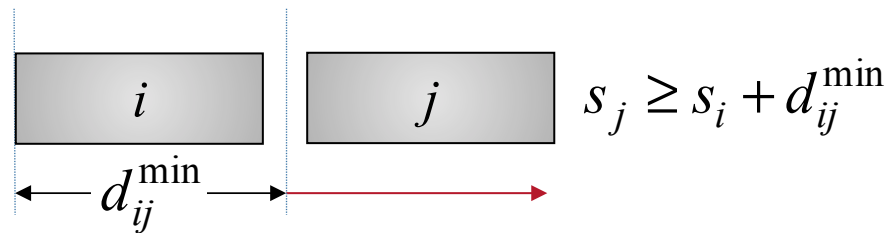
Restricciones. Formalización (1)

Restricciones potenciales (temporales):

- Localización temporal mínima y máxima



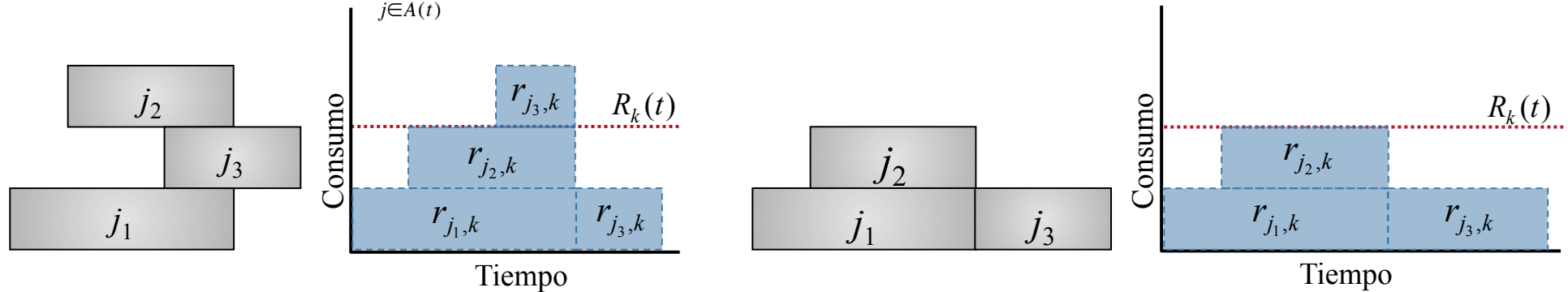
- Sucesión mínima y máxima



Restricciones. Formalización (2)

Restricciones acumulativas de compatibilidad y de equilibrado (recursos):

- Formalización: $\sum_{j \in A(t)} r_{j,k} \leq R_k(t) \Rightarrow w_k(t) = 0 \quad \forall t = 1, \dots, T; \min f(W_k)$



Restricciones disyuntivas (incompatibilidad temporal):

- Formalización: $(s_j \geq s_i + p_i) \vee (s_i \geq s_j + p_j)$

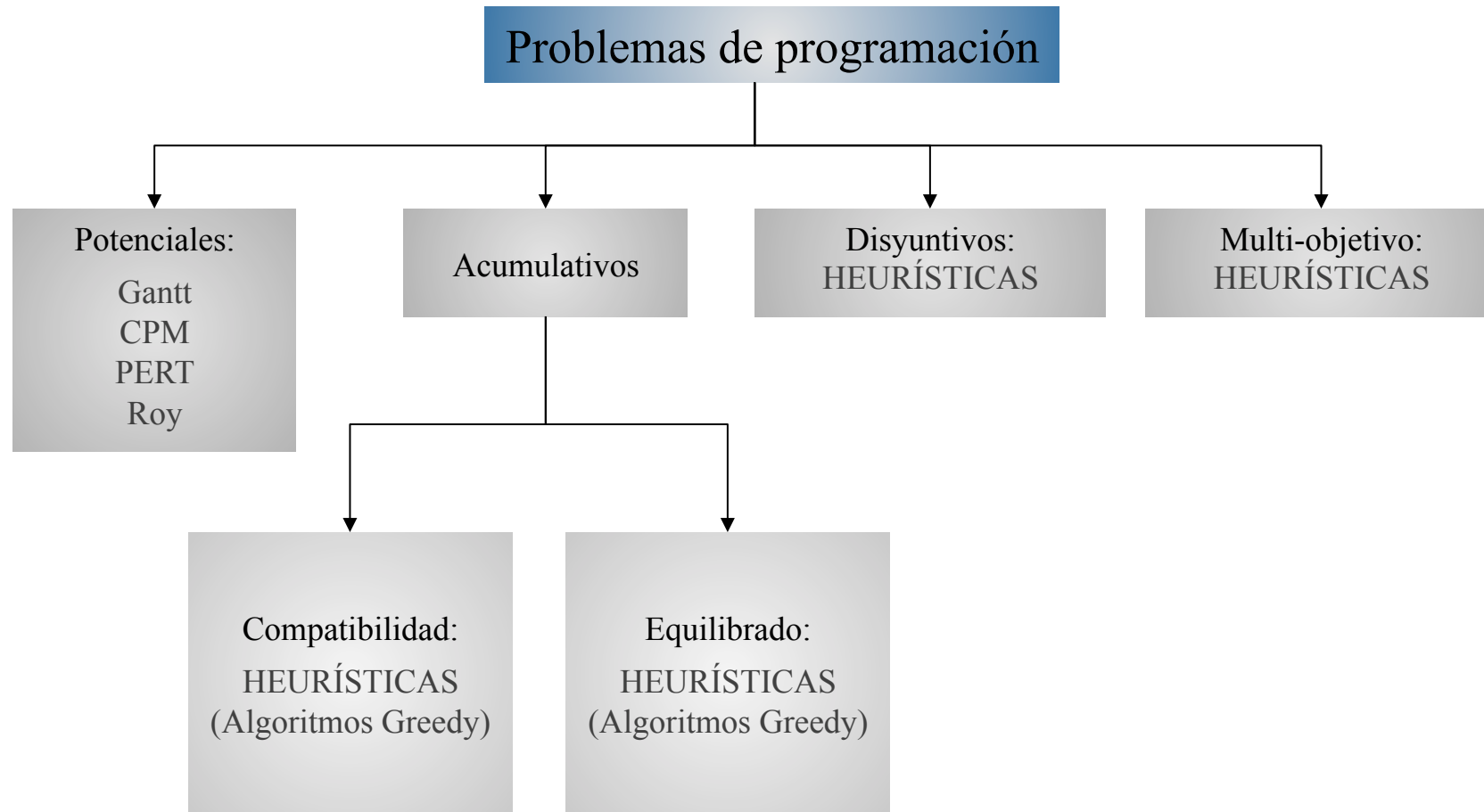


Soluciones. Terminología

- Una SOLUCIÓN es un PROGRAMA que está compuesto de la información necesaria para realizar el PROYECTO.



Problemas. Tipología



Problemas potenciales. Definición y datos

Definición:

- Problemas de programación de actividades que consideran sólo restricciones potenciales, tratando el resto de condicionantes a posteriori.

Datos del problema:

- Cualitativos:
 - Números de orden de las actividades
 - Códigos de las actividades.
 - Descripción de las actividades.
- Cuantitativos:
 - Tiempos de proceso de las actividades.
 - Localizaciones temporales y plazos entre inicios de actividades.
 - Grafo de precedencias.
 - Tasas de utilización de los recursos.
 - Costes de ejecución.



Problemas potenciales. Objetivo e incógnitas

Objetivo:

- Establecer un Calendario de actividades con mínima duración para el proyecto, satisfaciendo todas las restricciones potenciales.

Elementos incógnita:

Fecha mínima de inicio y finalización de la actividad: $s_j^{\min}, e_j^{\min} \quad \forall j \in J$

Fecha máxima de inicio de la actividad: $s_j^{\max}, e_j^{\max} \quad \forall j \in J$

Margen (holgura) total de la actividad: $\Delta s_j = s_j^{\max} - s_j^{\min} \quad \forall j \in J$

Actividad crítica: j es crítica $\Leftrightarrow \Delta s_j = 0$

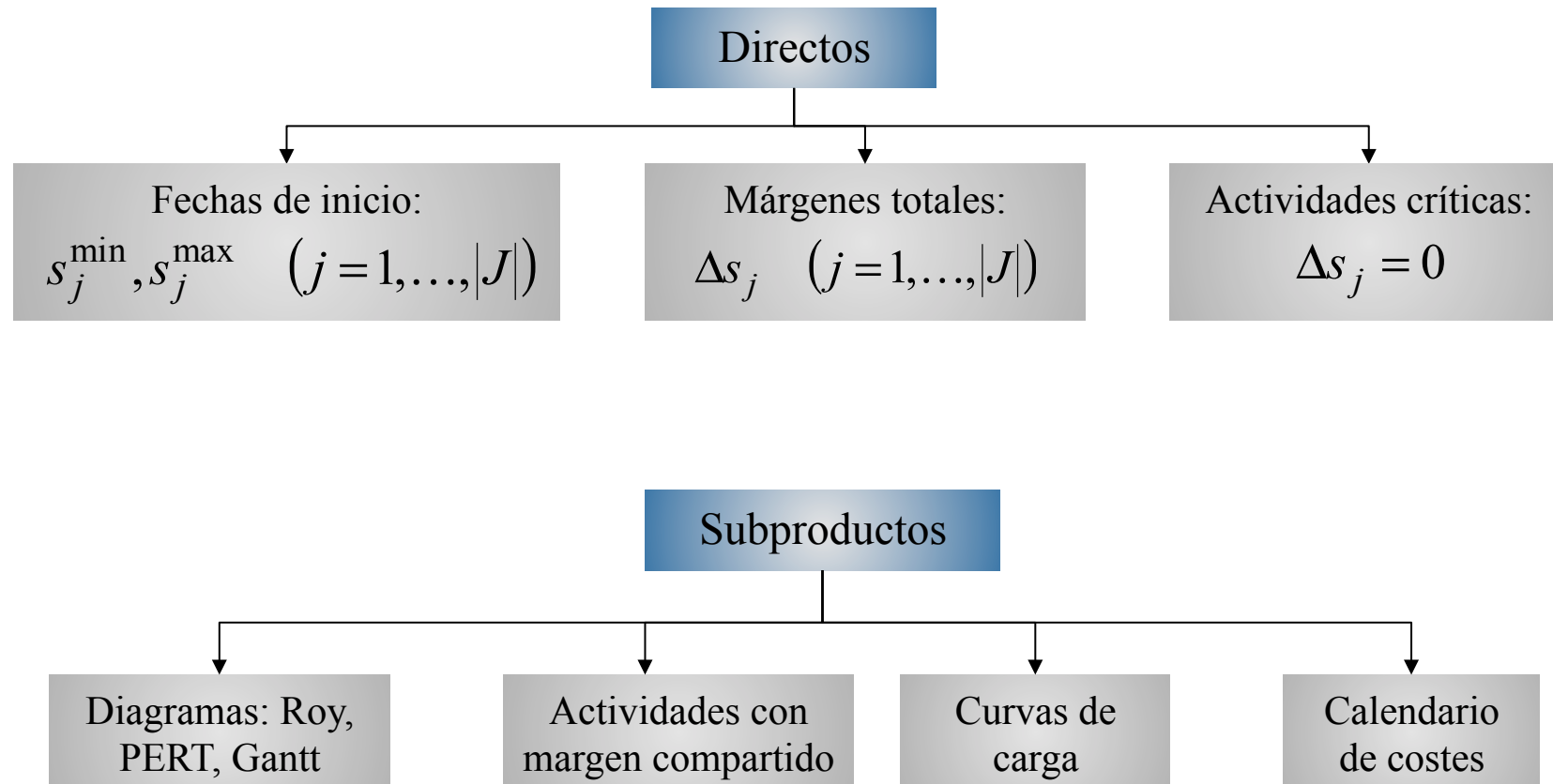
Camino crítico: $J_0 = \{j \in J : \Delta s_j = 0\}$

Duración mínima del proyecto: $T^* \equiv T^{\min} = \max_{j \in J} \{s_j^{\min} + p_j\} = \max_{j \in J} \{e_j^{\min}\}$



Problemas potenciales. Resultados

Resultados:



Ejemplo 1. Datos (1)

j	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	p_j (días)	P_j	F_j
1	A	Despejar emplazamiento	4	-	B
2	B	Medición y replanteo	3	A	C
3	C	Explanación	2	B	D, E, G, H, F
4	D	Preparación acometida eléctrica	7	C	P
5	E	Excavación conducciones eléctricas	2	C	I
6	F	Excavación desagües	10	C	J
7	G	Cimientos depósito agua	5	C	K
8	H	Perforación pozo	15	C	L
9	I	Instalación conducciones eléctricas	5	E	M
10	J	Instalación tuberías desagües	6	F	M
11	K	Construcción depósito agua	10	G	N
12	L	Instalación Bomba	2	H	O
13	M	Instalación estación transformadora	3	I, J	P
14	N	Instalación tuberías depósito	9	K	Q
15	O	Instalación conducciones subterráneas	8	L	Q
16	P	Conexión red general	5	D, M	-
17	Q	Conexión tuberías	2	N, O	-



Ejemplo 1. Datos (2)

j	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	$r_{j, A}$	$r_{j, B}$	CI (Coste inicial)	CF (Coste Final)	CC (Coste continuo)
1	A	Despejar emplazamiento	1	1	10	-	-
2	B	Medición y replanteo	2	3	-	-	1
3	C	Explanación	4	-	-	-	2
4	D	Preparación acometida eléctrica	2	4	5	-	1
5	E	Excavación conducciones eléctricas	1	1	-	-	1
6	F	Excavación desagües	2	4	10	-	2
7	G	Cimientos depósito agua	1	3	-	10	-
8	H	Perforación pozo	1	2	-	20	-
9	I	Instalación conducciones eléctricas	2	4	2	-	2
10	J	Instalación tuberías desagües	1	7	-	15	-
11	K	Construcción de depósito agua	3	7	-	25	-
12	L	Instalación Bomba	1	1	4	1	-
13	M	Instalación estación transformadora	2	8	4	15	-
14	N	Instalación tuberías depósito	2	4	4	-	2
15	O	Instalación conducciones subterráneas	1	8	-	20	-
16	P	Conexión red general	1	4	-	10	-
17	Q	Conexión tuberías	2	2	5	-	-

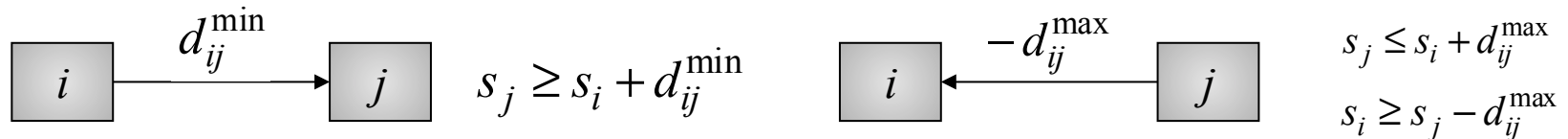
Representación problemas potenciales. Diagrama de Roy

Concepto:

Herramienta gráfica que representa la estructura de precedencias del proyecto, sin considerar la situación en el tiempo de las actividades.

Características de la representación:

- *Actividades*: representadas en los vértices del grafo.
- *Número de vértices*: $|J| + 2$ ($\alpha \rightarrow$ inicio ; $\omega \rightarrow$ fin).
- *Restricciones potenciales*: representadas en los arcos del grafo mediante plazos.
- Restricciones de sucesión mínima y máxima entre las actividades i y j :

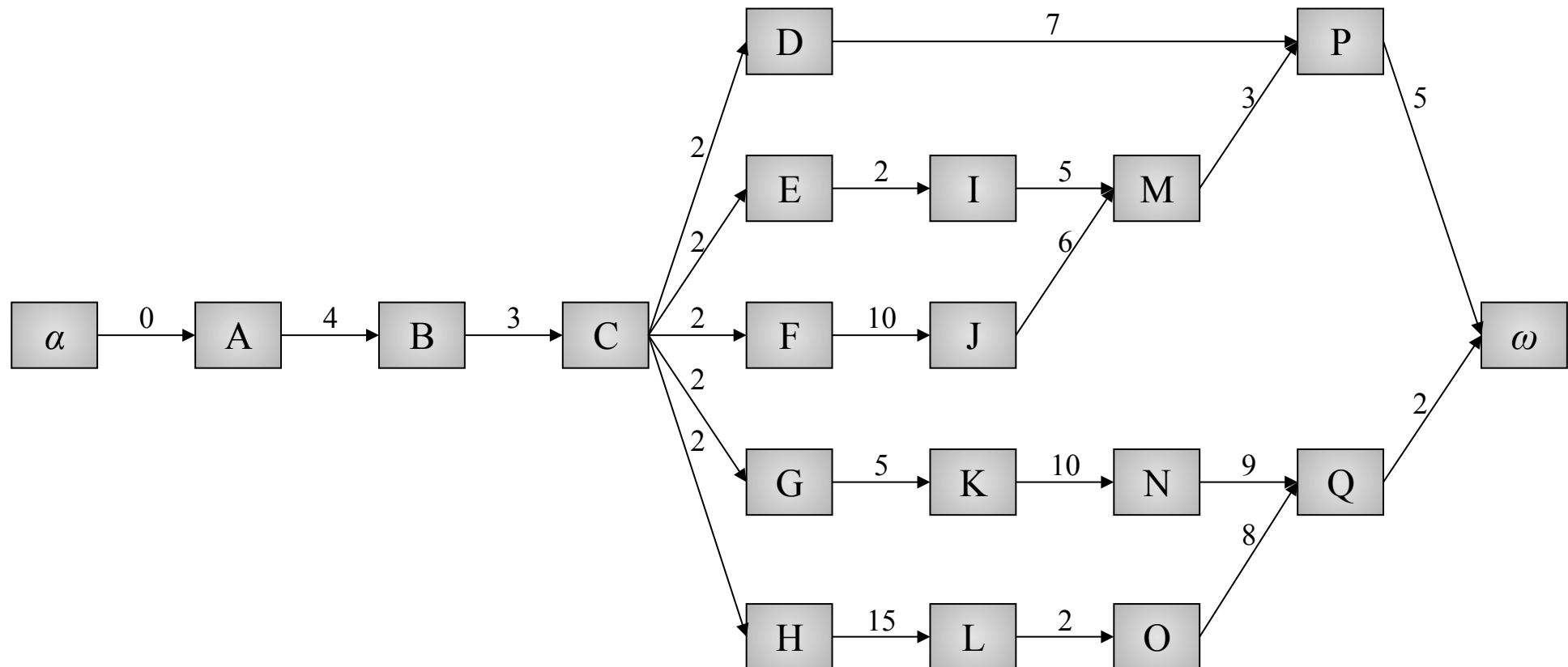


- Restricciones de localización temporal mínima y máxima de la actividad j :



Ejemplo 1. Diagrama de Roy (1)

Grafo Roy: actividades en los vértices



Ejemplo 1. Diagrama de Roy (2)

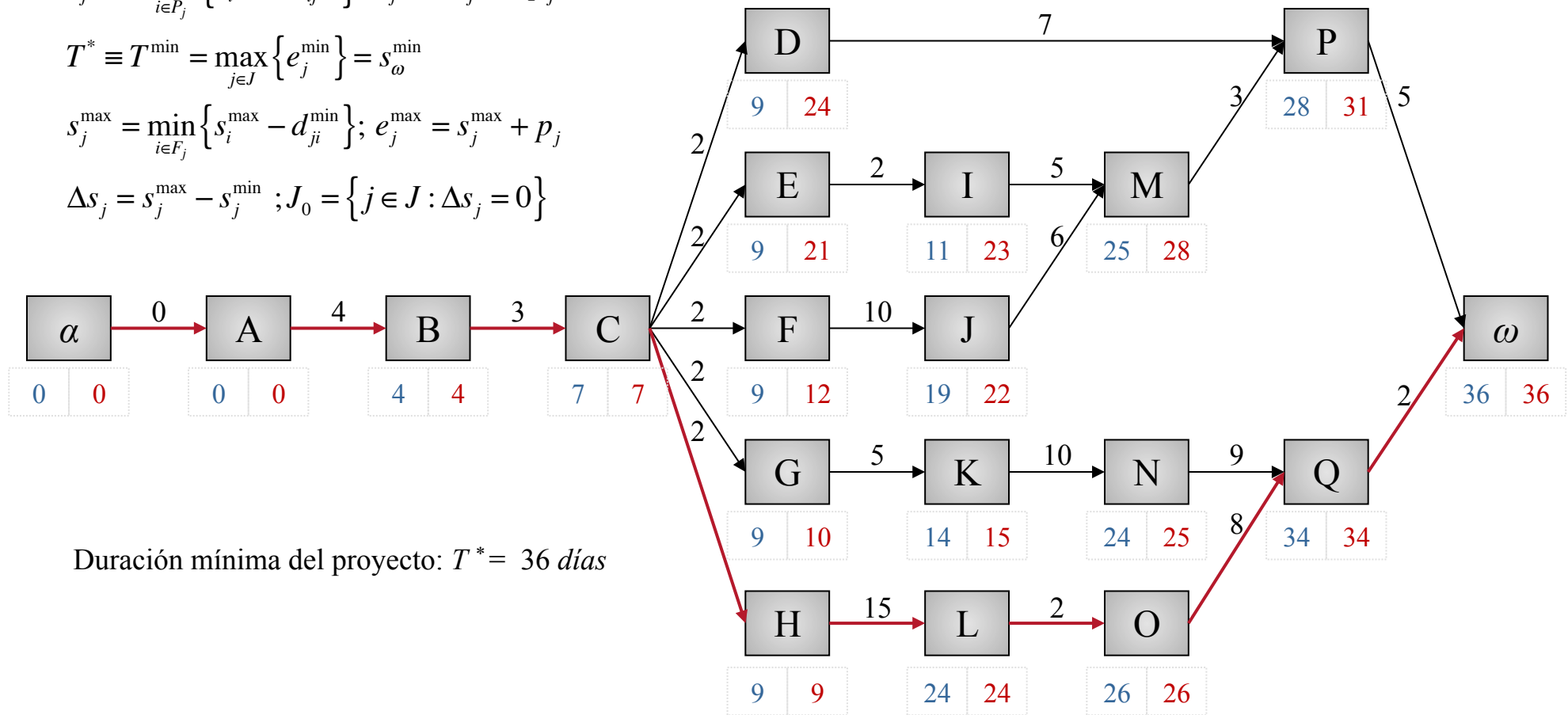
Fechas mínimas y máximas de inicio y Camino crítico

$$s_j^{\min} = \max_{i \in P_j} \{s_i^{\min} + d_{ij}^{\min}\}; e_j^{\min} = s_j^{\min} + p_j$$

$$T^* \equiv T^{\min} = \max_{j \in J} \{e_j^{\min}\} = s_{\omega}^{\min}$$

$$s_j^{\max} = \min_{i \in F_j} \{s_i^{\max} - d_{ji}^{\min}\}; e_j^{\max} = s_j^{\max} + p_j$$

$$\Delta s_j = s_j^{\max} - s_j^{\min}; J_0 = \{j \in J : \Delta s_j = 0\}$$



Representación problemas potenciales. Diagrama CPM-PERT (1)

Concepto:

Herramienta gráfica de representación de las relaciones entre las actividades de un proyecto.

- CPM (*Critical Path Method*).
- PERT (*Program Evaluation and Review Technique*).

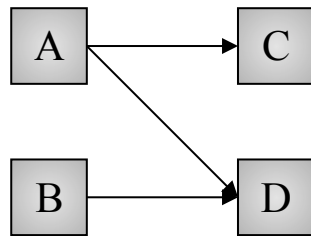
Características de la representación:

- *Actividades*: Arcos del grafo. Restricciones representadas por la duración de la actividad.
- *Número de arcos*: $|J| + [\text{actividades virtuales}]$.
- *Vértices*: Etapas del proyecto que distinguen el fin y el inicio de conjuntos de actividades.
- *Actividades virtuales* (v): arcos, no asociados a tareas concretas, necesarios para representar algunas restricciones de precedencia.

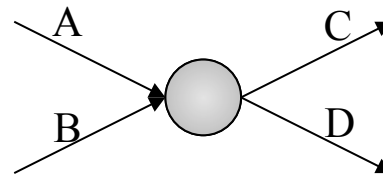
Representación problemas potenciales. Diagrama CPM-PERT (2)

Empleo de actividades virtuales (Casuística):

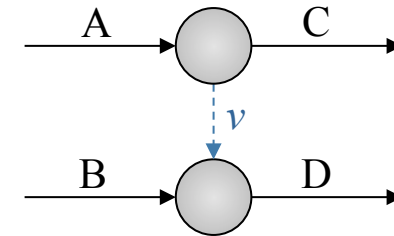
- Una actividad real aparece en conjuntos de precedentes distintos:



Representación de Roy

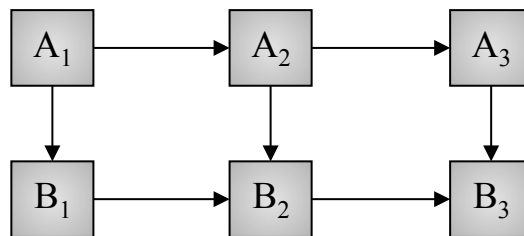


Representación No_correcta

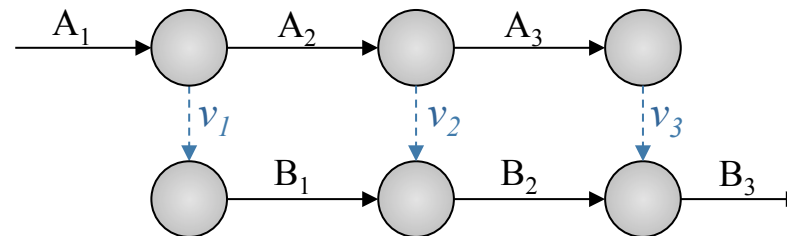


Representación PERT

- Dos trabajos pueden realizarse en parte simultáneamente, siendo preciso que esté lista una parte de un trabajo para poder dar comienzo a parte de otro trabajo:



Representación de Roy

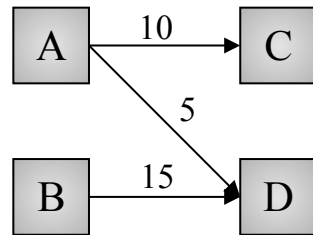


Representación PERT

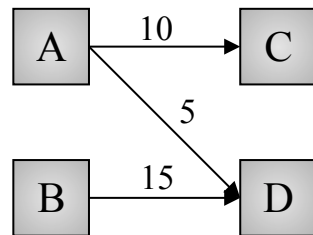
Representación problemas potenciales. Diagrama CPM-PERT (3)

Empleo de actividades virtuales (Ejemplos):

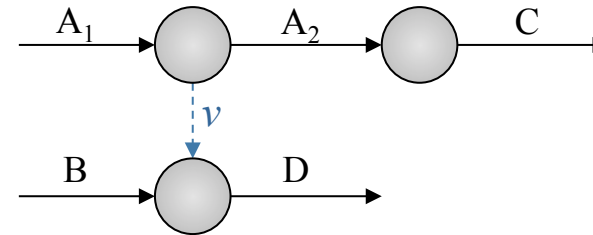
- Los plazos mínimos entre el comienzo de una actividad y los comienzos de sus actividades siguientes son distintos.



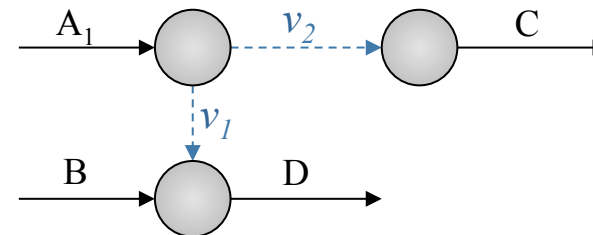
Representación de Roy



Representación de Roy



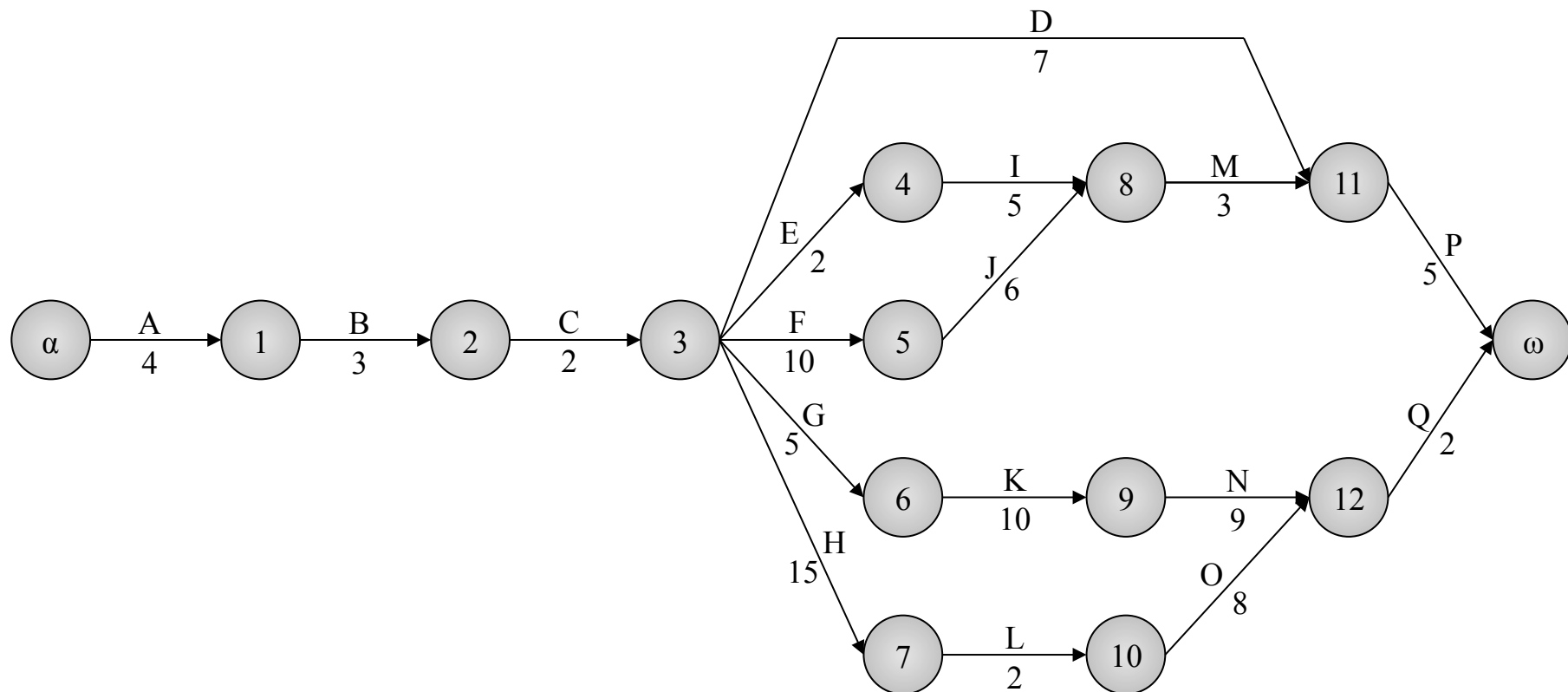
Representación PERT



Representación PERT

Ejemplo 1. Diagrama PERT (1)

Grafo PERT: actividades en los arcos y etapas en los vértices.



Ejemplo 1. Diagrama PERT (2)

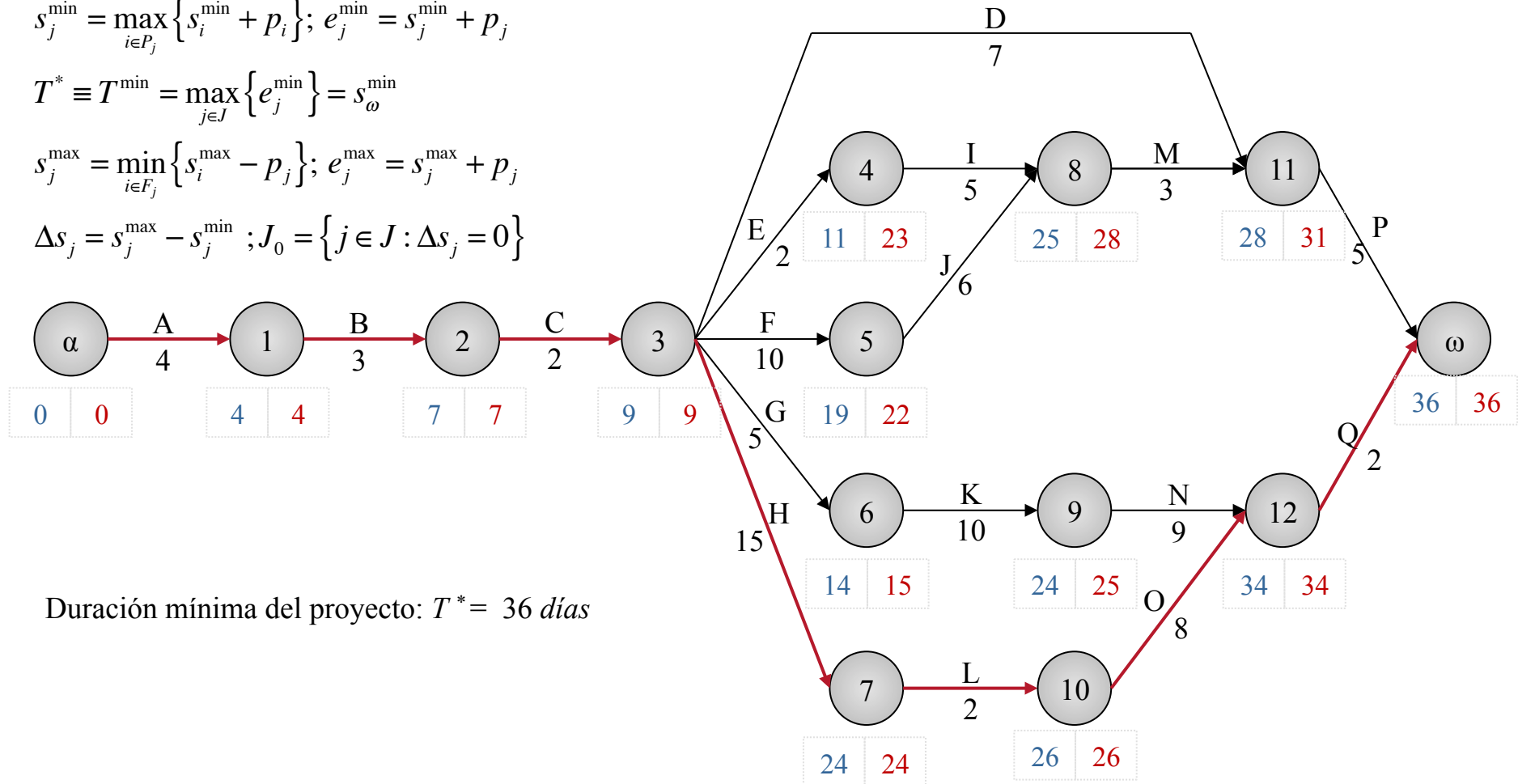
Fechas mínimas y máximas de inicio y Camino crítico

$$s_j^{\min} = \max_{i \in P_j} \{s_i^{\min} + p_i\}; e_j^{\min} = s_j^{\min} + p_j$$

$$T^* \equiv T^{\min} = \max_{j \in J} \{e_j^{\min}\} = s_{\omega}^{\min}$$

$$s_j^{\max} = \min_{i \in F_j} \{s_i^{\max} - p_j\}; e_j^{\max} = s_j^{\max} + p_j$$

$$\Delta s_j = s_j^{\max} - s_j^{\min}; J_0 = \{j \in J : \Delta s_j = 0\}$$



Duración mínima del proyecto: $T^* = 36$ días

Representación problemas potenciales. Diagrama de Gantt

Concepto:

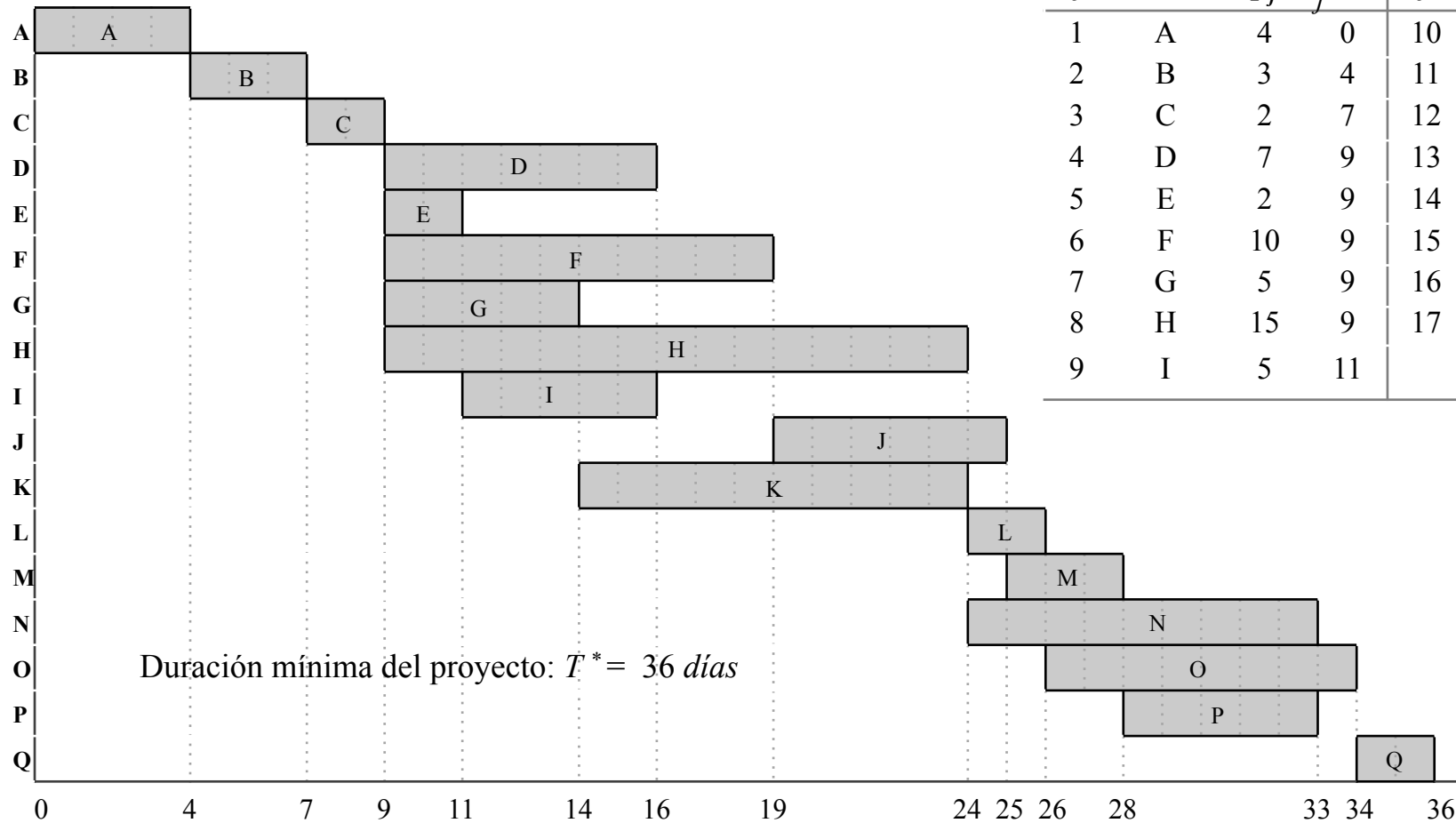
Herramienta gráfica que representa, mediante barras (homotéticas a los tiempos de proceso), la secuencia y temporización de las actividades de un proyecto.

Modalidades:

- *Diagrama de Gantt de fechas mínimas de inicio:*
 - Satisfacción de restricciones de precedencia.
 - Eliminación de tiempos muertos. Lanzamiento sin esperas.
- *Diagrama de Gantt de fechas máximas de inicio:*
 - Satisfacción de restricciones de sucesión.
 - Aplazamiento máximo de actividades, sin que se retrase el proyecto.

Ejemplo 1. Diagrama de Gantt (1)

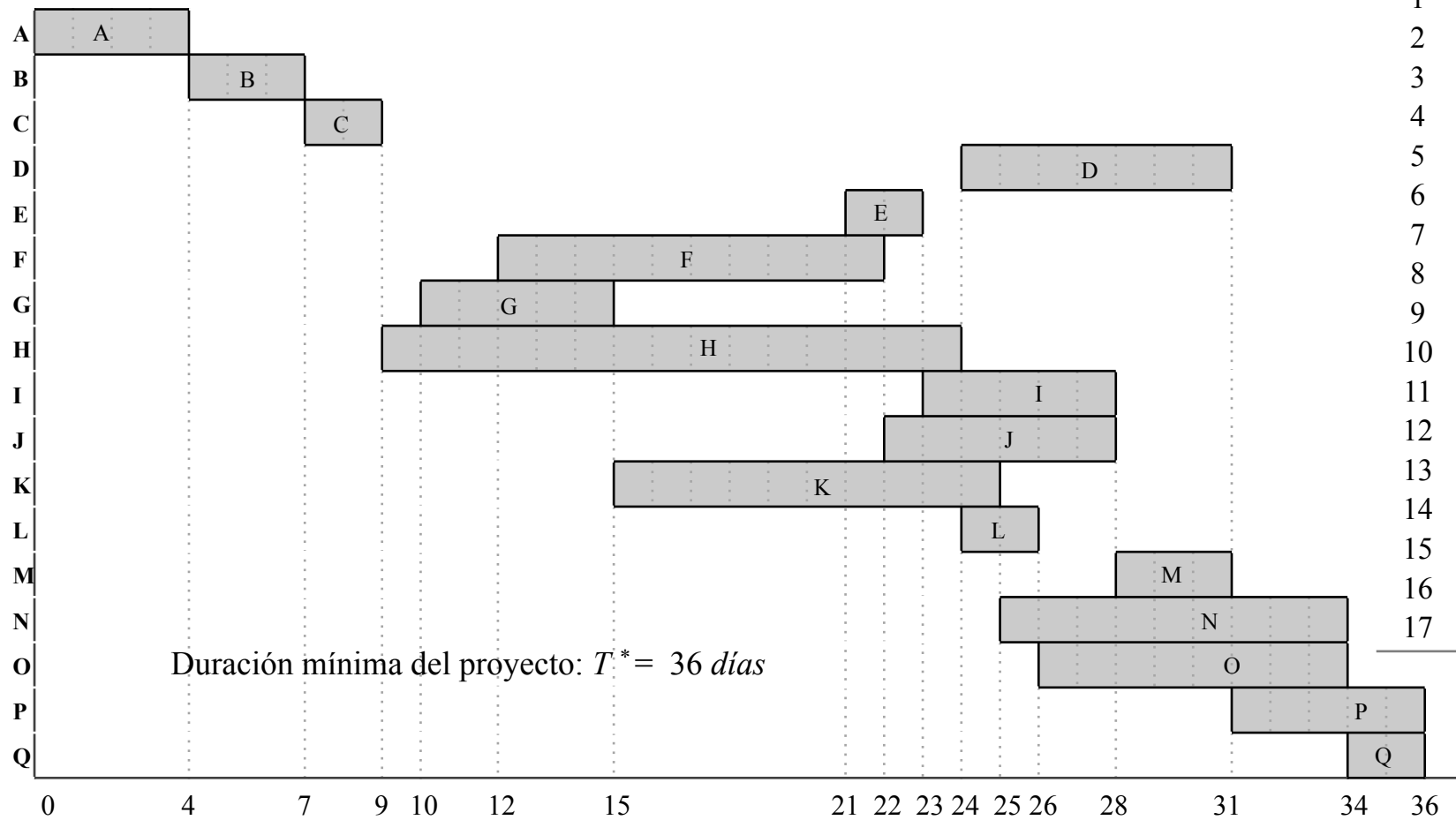
Fechas mínimas de inicio



<i>j</i>	<i>Cod.</i>	p_j	$s_j^{\min}$	<i>j</i>	<i>Cod.</i>	p_j	$s_j^{\min}$
1	A	4	0	10	J	6	19
2	B	3	4	11	K	10	14
3	C	2	7	12	L	2	24
4	D	7	9	13	M	3	25
5	E	2	9	14	N	9	24
6	F	10	9	15	O	8	26
7	G	5	9	16	P	5	28
8	H	15	9	17	Q	2	34
9	I	5	11				

Ejemplo 1. Diagrama de Gantt (2)

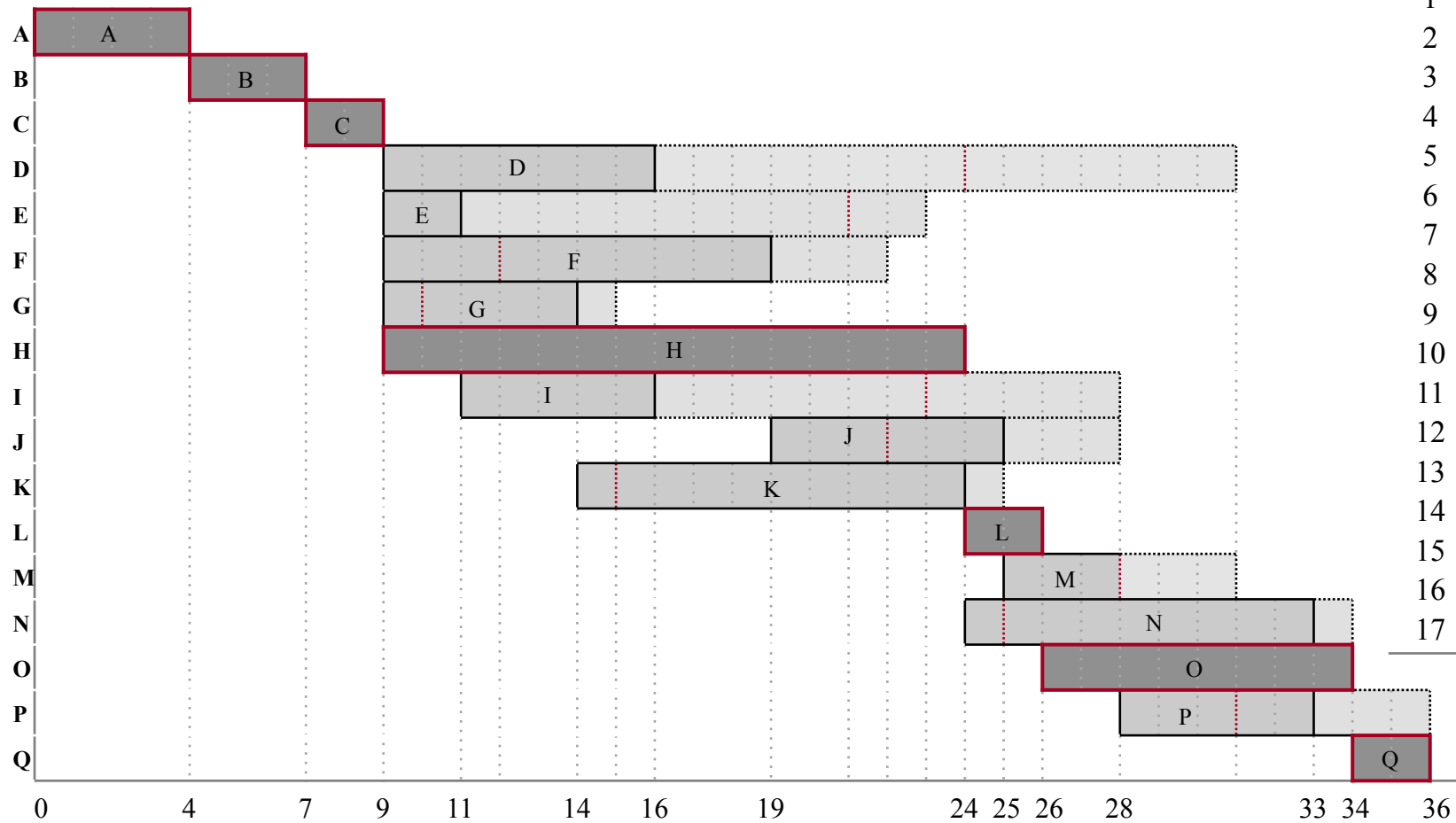
Fechas máximas de inicio



j	Cod.	p_j	$s_j^{\max}$
1	A	4	0
2	B	3	4
3	C	2	7
4	D	7	24
5	E	2	21
6	F	10	12
7	G	5	10
8	H	15	9
9	I	5	23
10	J	6	22
11	K	10	15
12	L	2	24
13	M	3	28
14	N	9	25
15	O	8	26
16	P	5	31
17	Q	2	34

Ejemplo 1. Diagrama de Gantt (3)

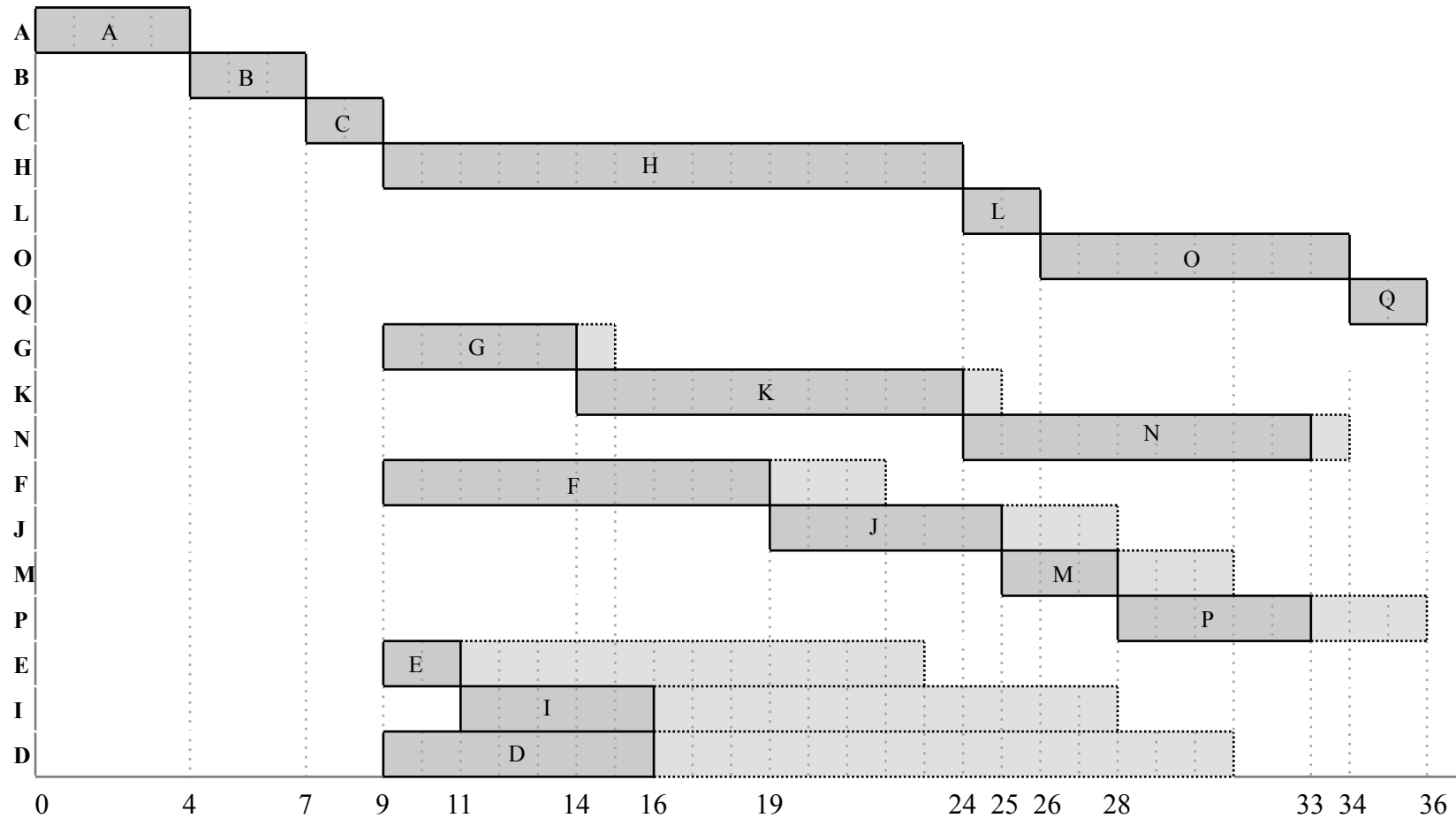
Màrgenes u holguras



<i>j</i>	<i>Cod.</i>	<i>p_j</i>	Δs_j
1	A	4	0
2	B	3	0
3	C	2	0
4	D	7	15
5	E	2	12
6	F	10	3
7	G	5	1
8	H	15	0
9	I	5	12
10	J	6	3
11	K	10	1
12	L	2	0
13	M	3	3
14	N	9	1
15	O	8	0
16	P	5	3
17	Q	2	0

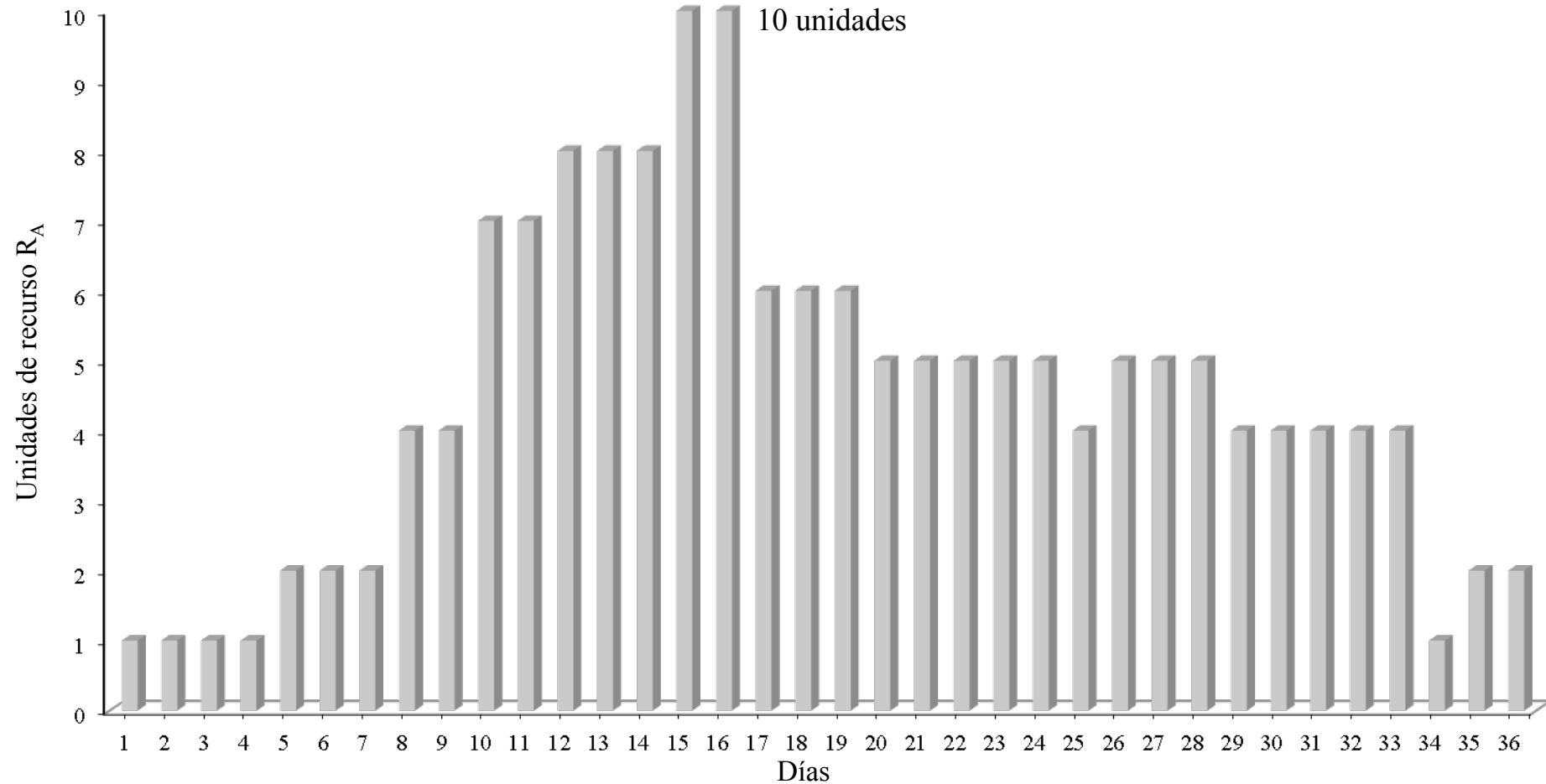
Ejemplo 1. Diagrama de Gantt (4)

Cadenas de actividades con margen compartido



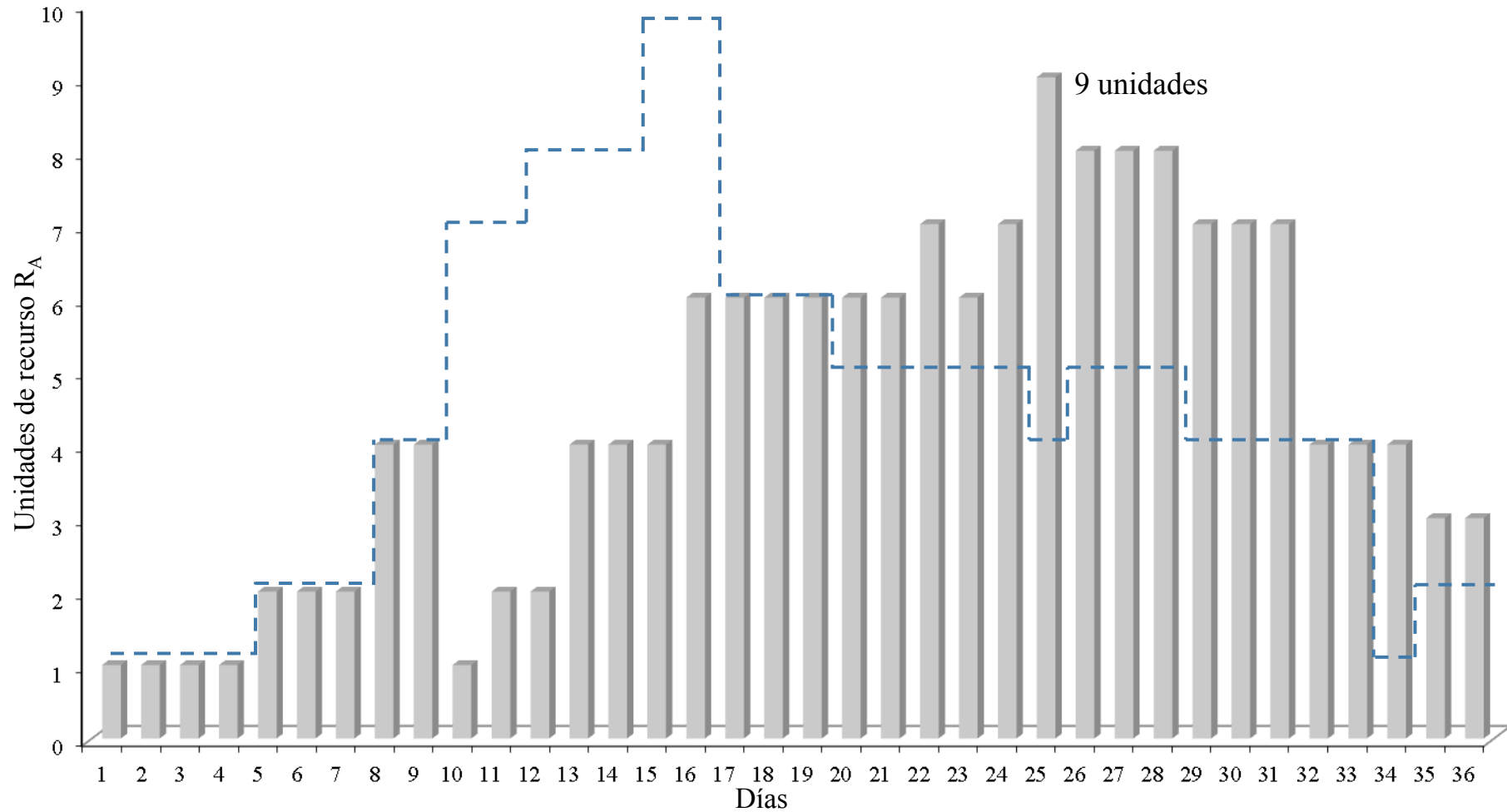
Ejemplo 1. Curvas de carga (1)

Curva de carga del recurso R_A con fechas mínimas de inicio. Utilización de R_A



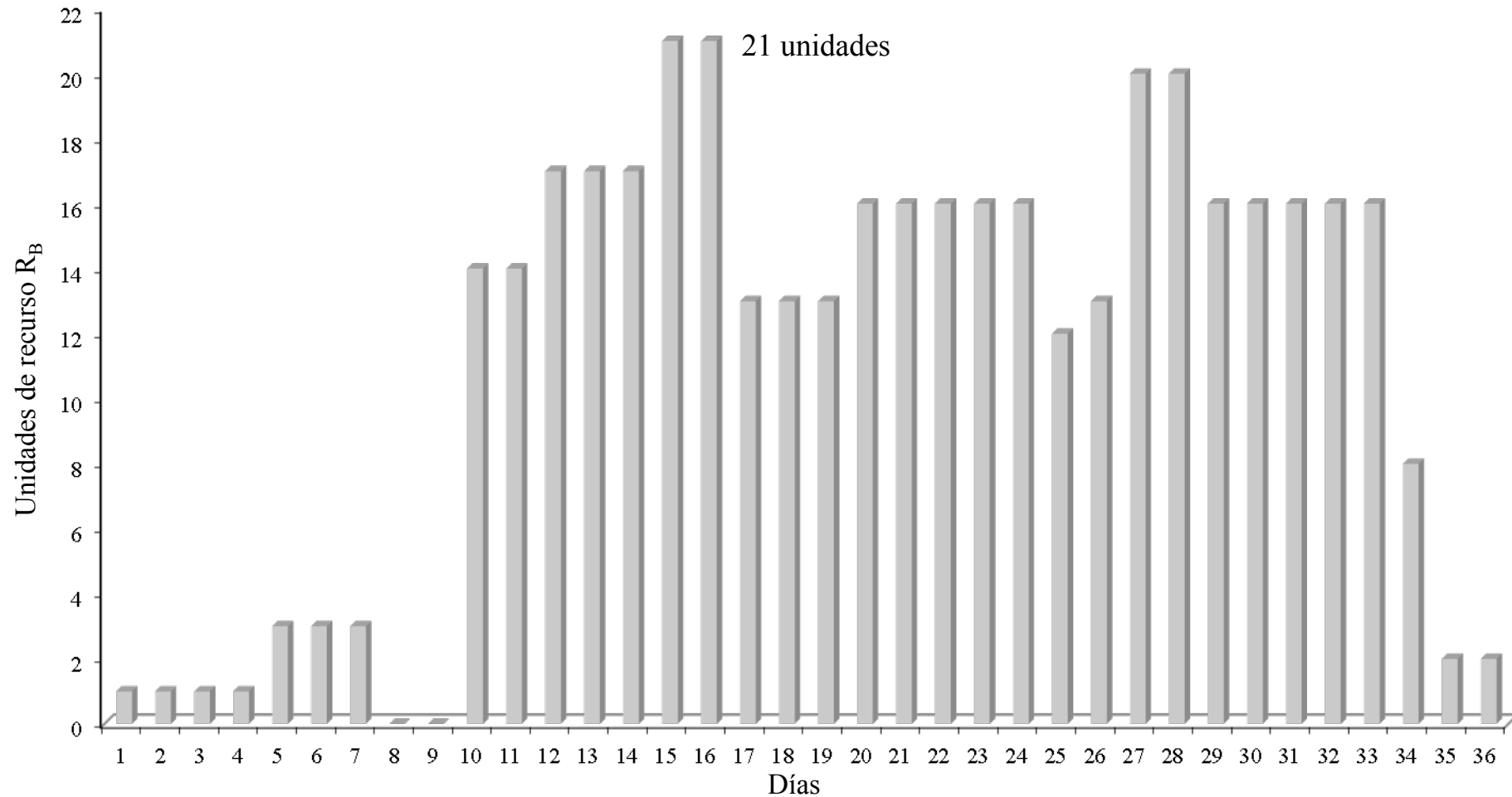
Ejemplo 1. Curvas de carga (2)

Curva de carga del recurso R_A con fechas máximas de inicio. Utilización de R_A



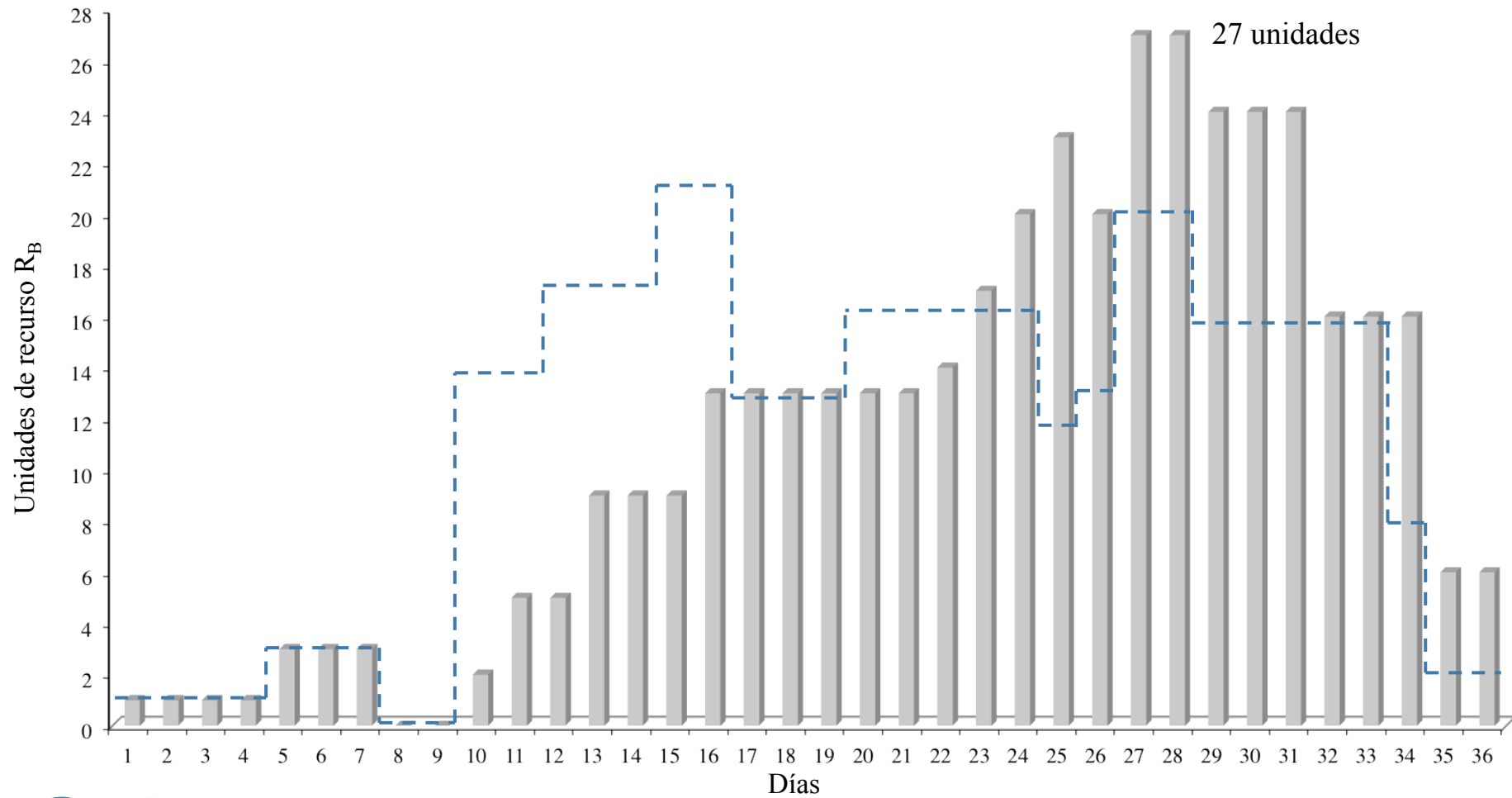
Ejemplo 1. Curvas de carga (3)

Curva de carga del recurso R_B con fechas mínimas de inicio. Utilización de R_B



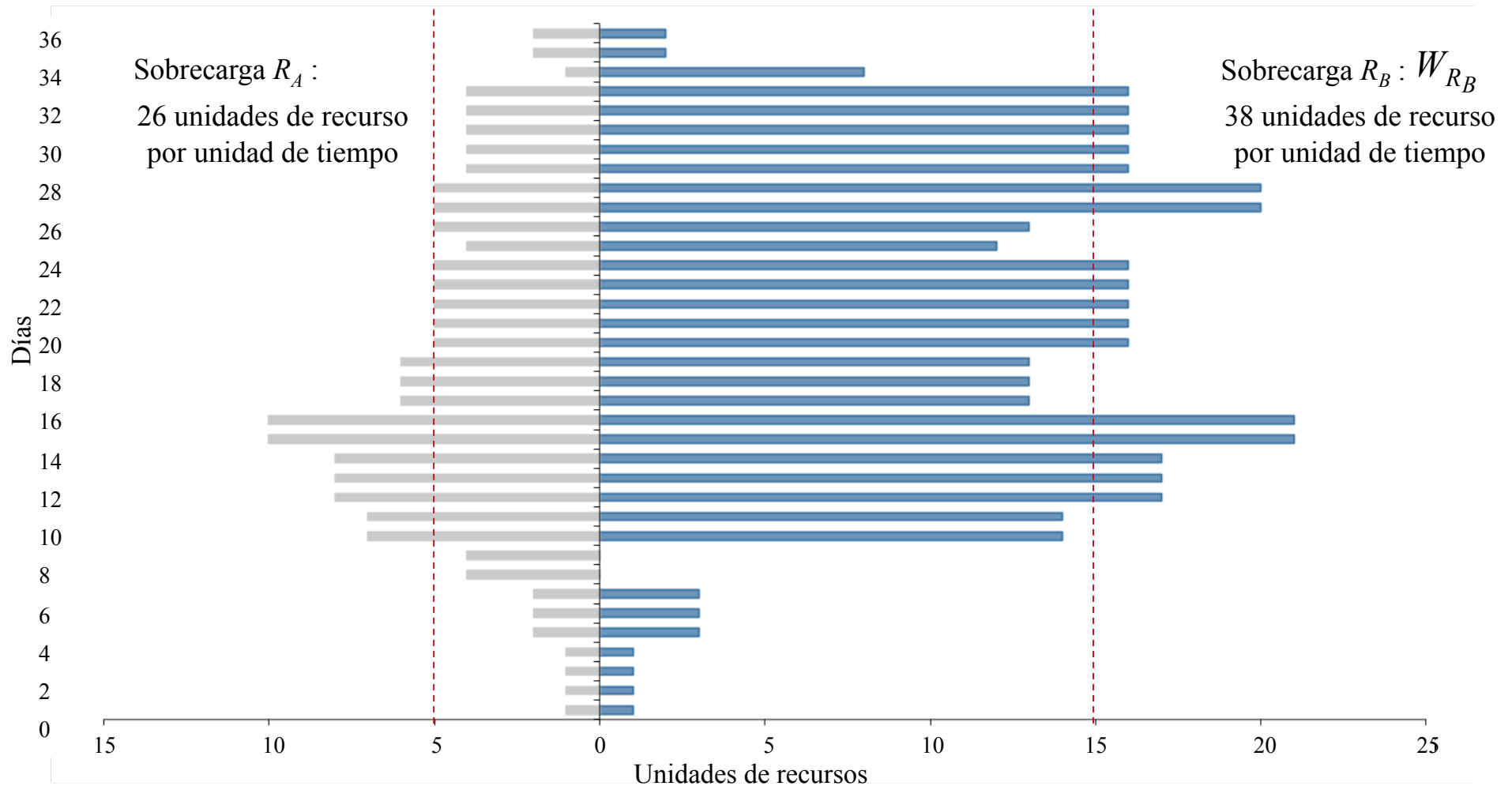
Ejemplo 1. Curvas de carga (4)

Curva de carga del recurso R_B con fechas máximas de inicio. Utilización de R_B



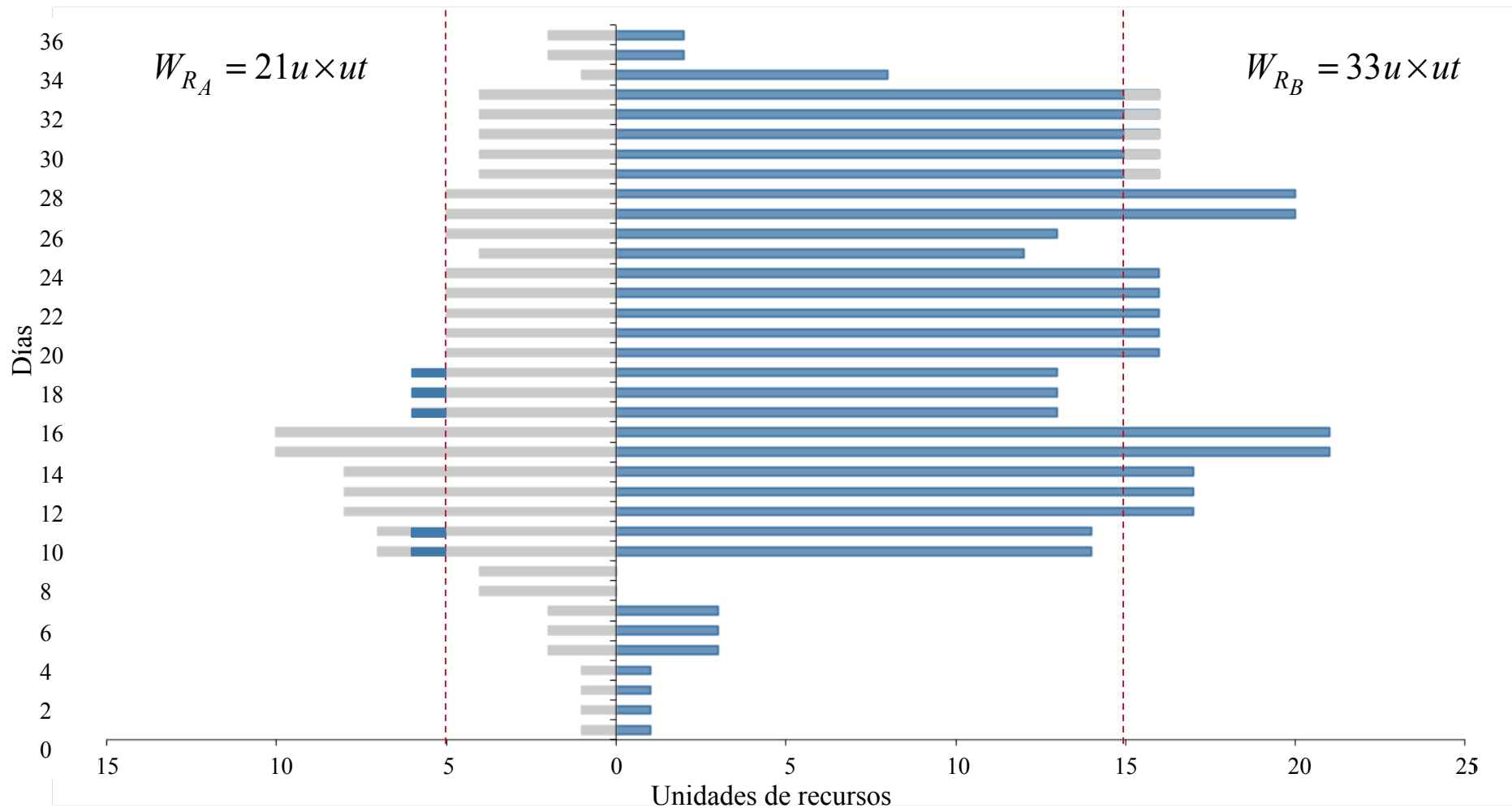
Ejemplo 1. Curvas de carga (5)

Utilización de los recursos R_A y R_B como especializados. Contingencia

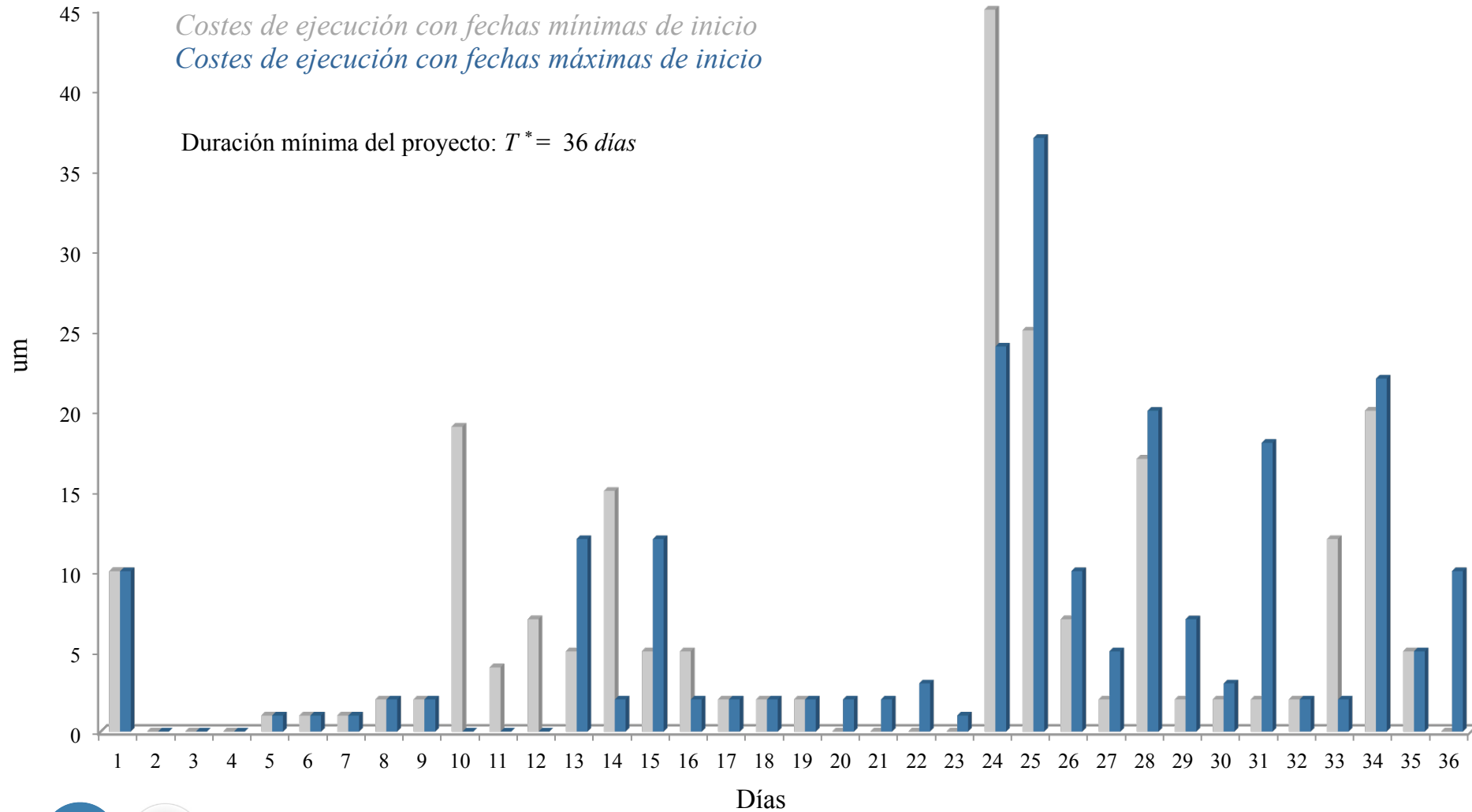


Ejemplo 1. Curvas de carga (6)

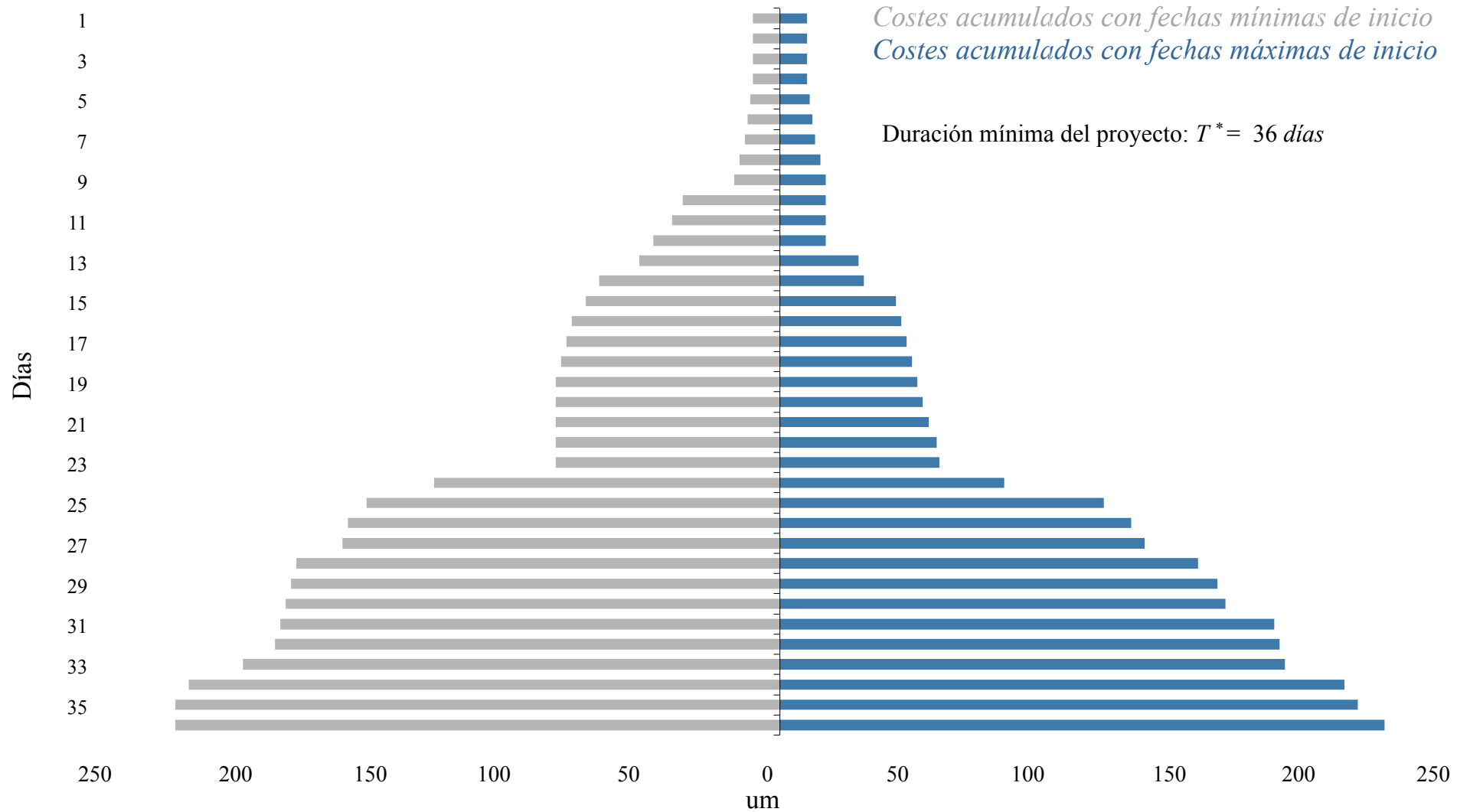
Utilización de los recurso R_A y R_B como bivalentes. Contingencia



Ejemplo 1. Calendario de costes de ejecución (1)



Ejemplo 1. Calendario de costes de ejecución (2)



A orillas del Nilo

“La pirámide fue edificándose de modo que en ella quedasen unas gradas o poyos que algunos llaman escalas y otros altares.

Hecha así desde el principio la parte inferior, iban levantándose y subiendo las piedras, ya labradas, con cierta máquina formada de maderos cortos que, alzándolas desde el suelo, las ponía en el primer orden de gradas, desde el cual con otra máquina que en él tenían prevenida las subían al segundo orden, donde las cargaban sobre otra máquina semejante, prosiguiendo así en subirlas, pues parece que cuantos eran los órdenes de gradas, tantas eran en número las máquinas, o quizá no siendo más que una fácilmente transportable, la irían mudando de grada en grada, cada vez que la descargasen de la piedra; que bueno es dar de todo diversas explicaciones.

Así es que la fachada empezó a pulirse por arriba, bajando después consecutivamente, de modo que la parte inferior, que estribaba en el mismo suelo, fue la postrera en recibir la última mano.[...]”

HERÓDOTO DE HALICARNASO (c440 a.C) *Euterpe* CXXV

