



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente

Convocatoria 2015

Proyecto N° 104

Título del proyecto

**“Casos de estudio para el aprendizaje mediante trabajo cooperativo
en Optimización y Econometría. Experiencias piloto”**

Nombre del responsable del proyecto

M^a Teresa Ortuño Sánchez

Centro

Facultad de CC. Matemáticas

Departamento

Estadística e Investigación Operativa

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

En este Proyecto de Innovación y Mejora de la Calidad Docente se proponía, como objetivo general, el contribuir a mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje incidiendo en la importancia del trabajo cooperativo y del autoaprendizaje y mejorando la relación entre lo aprendido en las aulas y el mundo profesional.

Para ello este proyecto se planteaba tres objetivos principales:

- 1- Completar el trabajo realizado en un proyecto anterior, elaborando, para los casos de estudio ya construidos, guías docentes para el desarrollo de clases en las que, en pequeños grupos, se discuta cada caso, se estudien las técnicas adecuadas para abordarlo y se proponga una solución, utilizando para ello un software de optimización adecuado, preferiblemente uno que sea utilizado en el mundo profesional.
- 2- Ampliar el banco de casos existente mediante aportaciones de expertos.
- 3- Realizar dos experiencias piloto de docencia según la metodología propuesta, una en una asignatura de grado y la otra en una asignatura de máster, en la que se trabaje utilizando algunos de los casos elaborados, y en las que, mediante trabajo cooperativo, los estudiantes puedan desarrollar y proponer sus propios casos de estudio.

2. Objetivos alcanzados

Alguno de los logros alcanzados son los siguientes:

- a) Se ha ampliado en banco de casos y se han elaborado guías docentes para el desarrollo de las clases. Dicho material supone un instrumento muy útil para la enseñanza y el aprendizaje de la Optimización y la Econometría y está a disposición de los profesores que lo soliciten.
- b) Se han programado y realizado dos ciclos de conferencias, en colaboración con el programa de doctorado en Ingeniería Matemática, Estadística e Investigación Operativa, en la que distintos expertos han presentado casos de estudio para problemas complejos, que han permitido ampliar el banco de casos posibilitando contar en la actualidad con casos que pueden ser utilizados desde un nivel de estudios de grado hasta un nivel de posgrado (master y doctorado).
- c) Se ha cumplido totalmente el objetivo 3. Se han realizado dos experiencias piloto de docencia según la metodología del estudio de casos, una en una asignatura de grado (Taller de Econometría) y otra en una asignatura de master (Modelos Deterministas en Logística), que pueden ser consideradas un éxito. En el caso de la asignatura de grado se ha trabajado utilizando tres casos del Banco de Casos ya elaborado, mientras que en la asignatura de master los estudiantes han desarrollado sus propios casos de estudio.

Sin embargo no ha sido posible completar la verificación de los casos construidos, debido fundamentalmente a la no disponibilidad de la licencia de mantenimiento del software de optimización GAMS, por problemas presupuestarios, que hubiera permitido disponer de licencias académicas completas, tal como se solicitaba en el proyecto. Esta licencia es necesaria, puesto que los casos de estudio desarrollados, al responder a situaciones reales, dan lugar a modelos que exceden con mucho los que permite resolver el software con la licencia de estudiante, única disponible en la actualidad para los alumnos.

3. Metodología empleada en el proyecto

- a) En cuanto al objetivo de desarrollar las guías de trabajo para el banco de casos, se elaboró un esquema general, que incluía un "guion para el profesor" donde se debía indicar aquello que se busca que los alumnos aprendan a partir de cada caso, así como el tipo de metodologías que se quieren abordar con el caso, y que incluyera una breve descripción de los resultados. Los casos se repartieron entre los profesores implicados en el proyecto.

Los resultados se obtuvieron a partir de un software de optimización (GAMS), o de estadística (SAS) con el objeto de que puedan servir de orientación sobre los resultados que se espera que puedan obtener los estudiantes, aunque no en todos los casos estos dispondrán de la versión académica completa para su realización.

- b) En cuanto al segundo objetivo, la metodología empleada ha consistido en la organización de dos ciclos de conferencias destinadas tanto a estudiantes como a profesores en las que se pidió a los ponentes, investigadores o profesionales del área, que presentasen uno o más casos reales y el camino seguido para su modelización y resolución.

- c) En cuanto a la tercera línea, se han llevado a cabo dos experiencias piloto, una en una asignatura de grado (Taller de Econometría) y otra en una asignatura de máster (Modelos Deterministas en Logística).

La metodología empleada fue distinta en cada una de las dos asignaturas. En la asignatura de grado se dividió a los alumnos en grupos y se trabajaron tres casos de estudio. Para cada uno de ellos se planteó el caso, dando una descripción más o menos detallada del contexto del decisor, así como los datos necesarios para la descripción del caso y de las posibles soluciones, y se les instruyó en el manejo del Software necesario. En primer lugar se realizó una discusión abierta de las características del caso, para pasar después a varias sesiones de trabajo en el aula de informática para ir aproximando el modelo, contando con la posibilidad de aprender del trabajo de otros grupos. A partir de estos casos de estudio se introdujeron nuevas técnicas de planteamiento y solución de problemas en Optimización y Econometría.

En la asignatura de master se les pidió en cambio a cada grupo que construyeran su propio caso de estudio de forma que, a su juicio, permitiera contemplar y recoger los contenidos fundamentales de la asignatura.

4. Recursos humanos

Los profesores responsables de las dos asignaturas seleccionadas han planificado y llevado a cabo las experiencias piloto (profesores Tirado, Vitoriano y Ortuño y profesores Martín-Campo, Vitoriano y Ortuño, respectivamente).

Los profesores Yáñez, Vitoriano y Ortuño han estado a cargo de la organización de los ciclos de conferencias de expertos, mientras que todo el equipo ha participado en el desarrollo y ampliación del Banco de Casos y la elaboración de las guías docentes. Se cuenta además con el consentimiento de los alumnos de master para la utilización de sus casos de estudio, tanto en la presente memoria como en posteriores experiencias docentes.

5. Desarrollo de las actividades

De acuerdo con el cronograma del proyecto, en primer lugar se planificaron las experiencias piloto, tanto en la asignatura de grado como en la asignatura de master. La asignatura de grado elegida, "Taller de Econometría" es de segundo cuatrimestre, por lo que la experiencia se desarrolló durante los meses de abril, mayo y junio.

La experiencia consistió fundamentalmente en el trabajo sobre tres casos de estudio del Banco de Casos ya desarrollado, en los que los alumnos trabajaron por grupos. A cada grupo se le suministró una descripción más o menos detallada del contexto del decisor, así como los datos necesarios para la descripción del caso y de las posibles soluciones, y se les instruyó en el manejo del Software necesario. Puesto que no fue posible (por limitación presupuestaria) adquirir una licencia completa de GAMS, los alumnos tuvieron que trabajar con la versión de estudiante durante el proceso de diseño, y utilizar recursos web (página NEOS) para obtener la solución final del problema.

En paralelo, durante los meses de abril, mayo y junio se trabajó en el desarrollo de guías docentes para los casos ya elaborados, que fueron validadas por todo el equipo durante los meses de julio y septiembre.

Durante los meses de octubre a diciembre se desarrolló la experiencia piloto en la asignatura de master "Modelos Deterministas en Logística". En esta ocasión los alumnos, en grupos reducidos, contextualizaron, desarrollaron y presentaron sus propios casos de estudio. Estos casos se utilizarán para el desarrollo de la asignatura en cursos posteriores.

Adicionalmente durante el mes de noviembre se programaron varias conferencias de expertos en colaboración con el programa de doctorado de Ingeniería Matemática, Estadística e Investigación Operativa, que presentaron a profesores y alumnos casos de estudio en Optimización y Economatemática referentes a temas avanzados. En particular se impartieron las siguientes conferencias:

- Prof. Laureano Escudero Bueno (URJC): Optimización Entera Avanzada (I): Descomposición de Benders. Aplicación a Casos de Estudio.
- Prof. Laureano Escudero Bueno (URJC): Optimización Entera Avanzada (II): Relajaciones y descomposición. Aplicación a Casos de Estudio.
- Prof. Rafael Caballero (UMA): Decisión multicriterio discreta. Caso de estudio. Dentro del curso “*Decisión Multicriterio: Métodos Interactivos y Decisión en Grupo*”.
- Prof. Emilio Carrizosa (US): Máquinas de Vector Soporte (Support Vector Machines). Aplicación a problemas de Clasificación y de Regresión.

El presupuesto concedido a este proyecto se dedicó, principalmente, al pago de algunas de estas conferencias.

6. Anexos

Anexo I: Estructura general de un Caso de Estudio: Resumen.

Características generales de los casos de estudio:

Deben:

- Contar una historia.
- No estar muy alejados en el tiempo.
- Ser relevantes al estudiante.
- Tener una o varias decisiones que tomar.
- Tener una función didáctica.
- Poder generalizarse con facilidad.
- No ser demasiado largos.

Los siguientes elementos comunes de un caso de estudio estarán presentes en los casos desarrollados:

- Decisor, que es quien tiene que tomar una decisión y dar una solución al problema planteado.
- Una descripción más o menos detallada del contexto del decisor.
- Los datos necesarios para la descripción del caso y de las posibles soluciones.

Anexo II.- Algunos Casos de Estudio desarrollados por estudiantes en la asignatura “Modelos Deterministas en logística”.



GaNova

MONTAJE Y DISTRUBUCIÓN DE
AMPLIFICADORES

UBAY CASANOVA BLANCAS
IMANOL GAGO CARRO



Contenido

1	EMPRESA	3
2	PLANIFICACIÓN.....	4
3	COMPRA DE LOS PRODUCTOS	7
3.1	Placa y transistor	8
3.1.1	Placas.....	8
3.1.2	Transistores	9
3.2	Condensadores.....	10
3.3	Resistencias.....	11
4	MONTAJE DE AMPLIFICADORES.....	12
4.1	Resistencias	12
4.2	Condensadores.....	13
5	DISTRIBUCIÓN DE PLACAS.....	15
6	CONCLUSIONES	20

1 EMPRESA

GaNova es una pequeña empresa vasco-canaria formada a principios de 2015. Con un capital 100% español formado por varios departamentos, GaNova tiene el objetivo de distribuir y vender amplificadores por la capital del país. Para ello, importamos piezas de diferentes países del mundo (ahora mismo tenemos relación con diferentes empresas de España, Alemania y Japón) y las ensamblamos en nuestro taller de modelaje.

En concreto, nuestra especialidad consiste en los amplificadores de emisor común. Son sistemas electrónicos que se utilizan para amplificar señales provenientes de una fuente cualquiera, como por ejemplo, un micrófono. En nuestro caso, vendemos el núcleo del dispositivo que estará formado por un transistor bipolar, varias resistencias y varios condensadores.

Cada uno de estos componentes los adquirimos a diferentes proveedores para asegurar la máxima calidad. Con esto conseguimos diferenciarnos de la competencia creando dispositivos que no existen en el mercado, pero con el hándicap de que debemos fabricar cada amplificador por separado. Para ello, hemos creado un circuito (Figura 1), en el cual cada componente cumple con una función, y es de vital importancia ahorrar el máximo espacio posible en la placa donde van a ser conectados todos los componentes, pues de esta manera podremos pedir placas de menor tamaño y, por ende, de menor precio. Además de ahorrar espacio en la placa, el hecho de que los componentes estén colocados de manera compacta en la placa, nos permitirá ahorrar el cobre con el que se conectan y, además, las máquinas que se encargan del ensamblado trabajarán menos y más rápido.

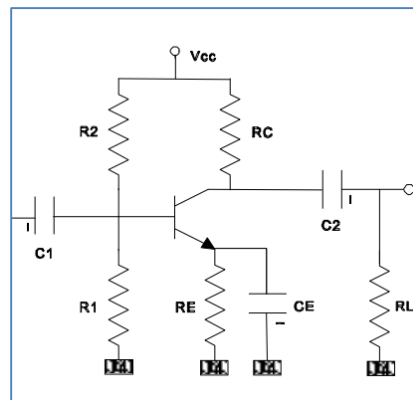


Figura 1. Amplificador en emisor común

Las cosas hay que hacerlas paso a paso y bajo una buena planificación. Es por eso que en nuestra empresa se ha creado un departamento (formado por Ubay Casanova e Imanol Gago) que únicamente se dedica a optimizar los gastos y recursos para poder sacar el máximo beneficio.

2 PLANIFICACIÓN

Todo proyecto comienza con una planificación de tareas: sin un buen planning de futuro, tendríamos empleados sin trabajar, la máquina de montaje inutilizada o cualquier otro contratiempo en el que malgastaríamos dinero.

Cuando comenzamos tuvimos claro cuáles serían las tareas que íbamos a hacer y una estimación del tiempo que iban a durar. Además fue muy importante saber si las tareas eran independientes o debían hacerse después de alguna otra.

TAREA	DESCRIPCIÓN	PREDECESORES	DÍAS
A	Búsqueda de clientes	-	3
B	Comprar placa y transistor ensamblado	A	7
C	Comprar resistencias	A	4
D	Comprar condensadores	A	9
E	Montaje de resistencias	B,C	3
F	Montaje de condensadores	E	6
G	Distribución	F	2

Parecen tareas triviales, pero si se quiere ahorrar el máximo de dinero se tienen que tener en cuenta todas y cada una de ellas. Nuestro trabajo comenzó buscando posibles clientes por toda la ciudad de Madrid. Ya que teníamos contactos con otras empresas y algún contrato ya apalabrado, a esta tarea no le dedicamos más de 3 días. Sin embargo, fueron días muy duros, ya que tuvimos que recorrer todos los recovecos de la ciudad para encontrar los mejores clientes.

Una vez teníamos clientes y sabíamos cual era la demanda de amplificadores que nos iban a pedir, nosotros debíamos pedir las piezas necesarias a diferentes empresas. Una empresa en Frankfurt (Alemania) nos hacía un muy buen precio por las placas y los transistores y, además, estos últimos ya venían montados en las placas. El tiempo de entrega no era muy alto, pero en ningún caso iba a ser menos de 1 semana. Respecto a las resistencias, decidimos comprarlas a un familiar de un empleado en su empresa burgalesa. El envío sería de 4 días. El hecho de comprar los condensadores a una empresa de Japón por su buena calidad, hizo que la duración del envío fuera mayor (9 días).

Con las piezas ya recibidas, podíamos empezar a montar los amplificadores. De hecho, como en nuestro inventario sólo contamos con una única máquina de montaje, era importante primero unir las resistencias a la placa (tarea que duraría 3 días) y, más tarde los condensadores (6 días).

Por último, se distribuirían todos los amplificadores a los clientes. Teniendo siete posibles repartidores, esta tarea no iba a durar más de 2 días.

Teniendo estas cosas clara, procedimos a dibujar la red de actividades en un esquema y a calcular el camino crítico (CPM). Cada nodo (indica la situación en la que nos hayamos) tiene un instante más temprano para que ocurra (t_i) e, igualmente, un instante más tardío para que ocurra (T_i). Se nos hizo fácil calcular estos tiempos, ya que solamente tuvimos que seguir estas fórmulas:

- $T_j = \max\{T_p + d_{pj}, T_q + d_{qj}, \dots, T_v + d_{vj}\}$ donde p,q,...,v son los nodos inmediatamente posteriores al nodo j.
- $t_j = \max\{t_p + d_{pj}, t_q + d_{qj}, \dots, t_v + d_{vj}\}$ donde p,q,...,v son los nodos inmediatamente anteriores al nodo j.

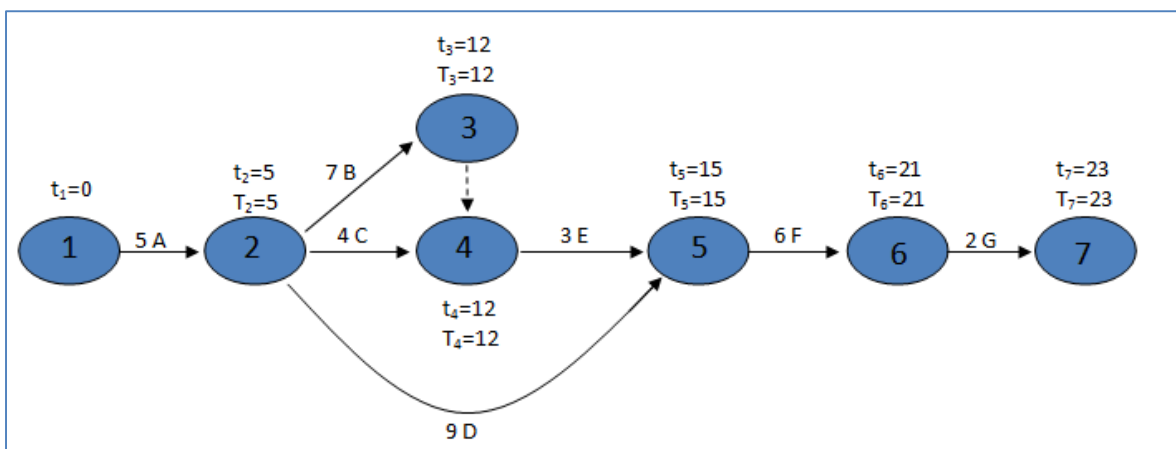


Ilustración 1 Diferentes estados del proyecto

También tuvimos que calcular qué tareas eran críticas, esto es, calcular aquellas tareas que en caso de ser retrasadas provocarían un retraso del todo el proyecto. Para ello, nos bastó hacer un pequeño cálculo: la tarea que se encuentra entre los nodo i,j es crítica si se dan estas tres condiciones:

- 1) $T_j = t_j$
- 2) $T_i = t_i$
- 3) $T_j - T_i = t_j - t_i = d_{ij}$

Tabla 1. Estudio de tareas críticas

Tarea	t_i	T_i	t_j	T_j	d_{ij}	¿Crítica?
A	0	0	5	5	5	Sí
B	5	5	12	12	7	Sí
C	5	5	12	12	4	No
D	5	5	15	15	9	No
E	12	12	15	15	3	Sí
F	15	15	21	21	6	Sí
G	21	21	23	23	2	Sí

Las tareas A, B, E, F y G cumplían las tres condiciones mencionadas anteriormente por lo que formaban el camino crítico. Las tareas C y D (y la tarea ficticia que une los nodos 3 y 4) no

eran tareas críticas, por lo que existía la posibilidad de hacerlas más tarde sin retrasar la fecha final del proyecto. Llegados a este punto, nos interesó saber cuánto se podían retrasar estas tareas sin que afectase al resto del proyecto, esto es, su holgura.

Tabla 2. *Holguras de las actividades no críticas*

Actividad no crítica	Duración	Holgura total	Holgura libre
ij	d_{ij}	$T_j - t_i - d_{ij}$	$t_j - t_i - d_{ij}$
C	4	$12 - 5 - 4 = 3$	$12 - 5 - 4 = 3$
D	9	$15 - 5 - 9 = 1$	$15 - 5 - 9 = 1$

Y, juntando todos estos datos, se procedió a hacer el diagrama de Gantt, que resultaba mucho más visual:

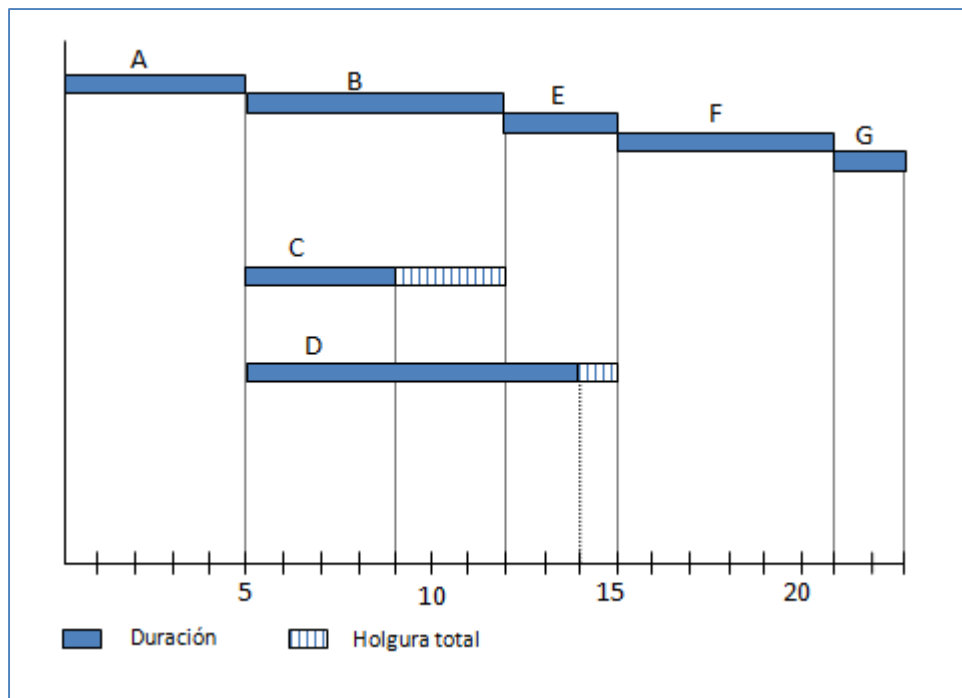


Figura 2. *Diagrama de Gantt*

De esta manera, pudimos ver cuándo era necesario empezar las tareas y en el caso de comprar resistencias y condensadores (tareas C y D), cuándo era lo más tardío que se podían llevar a cabo.

3 COMPRA DE LOS PRODUCTOS

Una de nuestras principales ventajas sobre la competencia es la buena elección que hacemos de los componentes que compramos. Somos especialistas en detectar aquellos proveedores que nos aporten la mayor calidad con un precio ajustado. Por lo tanto, y tras mucho estudio de mercado hemos localizado a nuestros 3 principales proveedores, el primero de ellos se encuentra en España, Burgos Resiste, al cual le compramos las resistencias para nuestro amplificador. Las placas y transistores se las adquirimos a Plaküsken Transistorum de Alemania, ya que además de ser de muy buena calidad nos envían la placa con el transistor soldado. Y por último, los mejores condensadores del mercado se encuentran en Condesadoles Japanese, empresa con años de experiencia en la construcción de estos dispositivos.

Cada uno de estos fabricantes nos aportan un descuento por cantidad de compra, por lo que será necesario recurrir (otra vez) a nuestros empleados Ubay Casanova e Imanol Gago para que nos indiquen la cantidad de componentes óptima que debemos comprar de cada uno para que salga lo más barato posible.

Los clientes han demandado un total de 200 amplificadores, por lo que necesitamos comprar la cantidad de componentes adecuados (o más) para la fabricación de estos 200 amplificadores. Estos clientes se dividen en 11 tiendas de Madrid.

Tabla 3. Componentes necesarios

Componente	Cantidad por amplificador	Cantidad total necesaria
Placa	1	200
Transistor	1	200
Condensador	3	600
Resistencia	5	1000

Para el caso de condensadores y de placas con transistores, nuestros proveedores nos ofrecen un descuento por cantidad de compra. Para el caso de las resistencias, nuestro proveedor nos ofrece 2 descuentos por cantidad, por lo que habrá que analizar uno a uno los componentes y qué cantidad de compra nos interesa más.

3.1 Placa y transistor

Nuestro proveedor Plaküsken Transistorum de Alemania nos envía la placa con el transistor incorporado sin realizar ningún cobro adicional, de tal manera que nosotros posteriormente solo tendremos que soldar las resistencias y los condensadores.



Figura 3. Transistor y placa

3.1.1 Placas

En primer lugar, analizaremos la cantidad de placas que debemos comprar. Sabiendo el precio unitario por cantidad:

$$c_u(Q) = \begin{cases} 1,44 \text{ €} & Q < 250 \\ 1,28 \text{ €} & Q \geq 250 \end{cases}$$

El proveedor nos indica unos costes fijos de pedido (c_p) y unos costes de almacenamiento (c_a) que estimamos nosotros por componente. Para ello, utilizamos la Fórmula de Wilson para obtener el tamaño óptimo del pedido

$$Y = \sqrt{\frac{2 * d * c_p}{c_a}} \approx 268 \text{ unidades}$$

siendo $c_p = 27\text{€}$, $c_a = 0.15\text{€/unidad}$ y $d = 200 \text{ unidades}$.

Como la cantidad óptima de pedido se encuentra por encima de la cantidad de descuento q (250 unidades), nos interesa hacer un pedido de Y unidades.

Por lo tanto, haremos pedidos de

$$Q^* = Y = 268 \text{ unidades}$$

3.1.2 Transistores

Tras adquirir las placas, también compraremos los transistores al mismo proveedor para que así puedan soldar los componentes. En este caso, el precio unitario por cantidad es:

$$c_u(Q) = \begin{cases} 7,98 \text{ €} & Q < 275 \\ 7,66 \text{ €} & Q \geq 275 \end{cases}$$

Los gastos de pedidos en este caso son diferentes a pesar de realizar el pedido al mismo proveedor, puesto que para cada componente tienen un coste de pedido diferente. Con este dato y con el coste de almacenamiento por unidad que nosotros estimamos, podemos hallar el tamaño óptimo de pedido para el caso en el que no tengamos descuento por cantidad.

$$Y = \sqrt{\frac{2 * d * c_p}{c_a}} \approx 126 \text{ unidades}$$

siendo $c_p = 6\text{€}$, $c_a = 0.15\text{€/unidad}$ y $d = 200 \text{ unidades}$.

En este caso, $Y < q$, por lo que hay que calcular si nos sale rentable llegar hasta la cantidad de descuento o no, para ello tenemos que utilizar la siguiente expresión:

$$c_1(Y) = c_2(Q')$$

$$\frac{d * c_p}{Y} + c_1 * d + c_a * \frac{Y}{2} = \frac{d * c_p}{Q'} + c_1 * d + c_a * \frac{Q'}{2}$$

$$\frac{c_a}{2} * Q'^2 + \left[c_2 * d - \left(\frac{d * c_p}{Y} + c_1 * d + c_a * \frac{Y}{2} \right) \right] * Q' + d * c_p = 0$$

obteniendo $Q' = 483 \text{ unidades}$. Como

$$Y < q < Q'$$

el pedido óptimo es

$$Q^* = q = 275 \text{ unidades}$$

Con lo cual, a nuestro proveedor alemán le haremos un pedido de 268 placas y 275 transistores, obteniendo un sobrante de 7 transistores, pues el resto vendrán directamente soldados.

3.2 Condensadores

Los condensadores son pedidos a Japón y, al igual que en el caso de las placas y los transistores, nos ofrecen un descuento por cantidad.

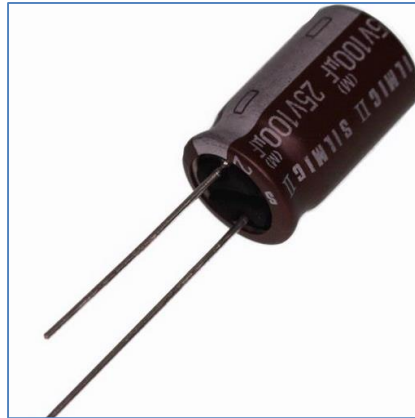


Figura 4. Condensador

Siendo los precios por unidad los siguientes:

$$c_u(Q) = \begin{cases} 0.0393 \text{ €} & Q < 600 \\ 0.0358 \text{ €} & Q \geq 600 \end{cases}$$

Calculando el pedido óptimo mediante la Fórmula de Wilson obtenemos

$$Y = \sqrt{\frac{2 * d * c_p}{c_a}} \approx 548 \text{ unidades}$$

siendo $c_p = 25\text{€}$, $c_a = 0.1\text{€/unidad}$ y $d = 600 \text{ unidades}$.

Como $Y < q$, calculamos Q' .

$$Q' = 721 \text{ unidades}$$

Como $Y < q < Q'$, el tamaño óptimo de pedido es de

$$Q^* = q = 650 \text{ unidades}$$

Con lo cual tendríamos un sobrante de 50 condensadores que utilizaríamos en caso de que alguno de ellos estuviera defectuoso.

3.3 Resistencias

En el caso de los componentes resistivos, nuestro proveedor nos ofrece un descuento por cantidad dividido en 3 lotes.

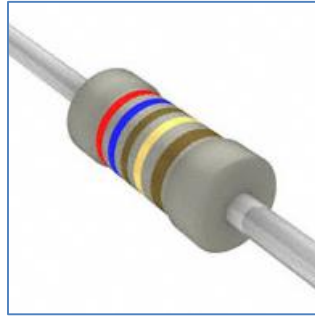


Figura 5. Componente resistivo

Los precios por unidad son los siguientes:

$$c_u(Q) = \begin{cases} 0.055 \text{ €} & Q < 1200 \\ 0.048 \text{ €} & 1200 \leq Q < 1750 \\ 0.042 \text{ €} & Q \geq 1750 \end{cases}$$

Calculando el pedido óptimo mediante la Fórmula de Wilson obtenemos

$$Y = \sqrt{\frac{2 * d * c_p}{c_a}} \approx 1211 \text{ unidades}$$

siendo $c_p = 22\text{€}$, $c_a = 0.03\text{€/unidad}$ y $d = 1000 \text{ unidades}$.

En este caso, observamos que nuestro pedido óptimo se va a encontrar entre los lotes 2 y 3, por lo cual aprovecharemos como poco el primer descuento. Así que, calculamos Q' para determinar finalmente si nos interesa coger el segundo descuento.

$$Q' = 2135 \text{ unidades}$$

Por lo tanto, razonando como para el caso de un descuento, como $Y < q < Q'$, el tamaño óptimo de pedido es de

$$Q^* = q_{3er \ lote} = 1750 \text{ unidades}$$

4 MONTAJE DE AMPLIFICADORES

Cuando nos llegan las piezas, es necesario montarlas. Primero se conectan las resistencias a las placas y, una vez acabado este proceso, se instalan los condensadores. Por suerte, las resistencias tardan menos en llegar y esta restricción no afecta mucho a los tiempos del proyecto.

Nuestra máquina de montaje es muy simple y funciona igual montando resistencias que condensadores. Tiene un pequeño almacén donde se guardan todas las piezas que se quieren conectar a la placa y, manualmente, se le indica en qué posiciones tiene que poner ese tipo de pieza. Posteriormente, un brazo mecánico que se puede mover en cualquier dirección, conecta las piezas. Por último, para poder retirar la placa con las nuevas piezas incorporadas, el brazo vuelve a la posición de inicio.

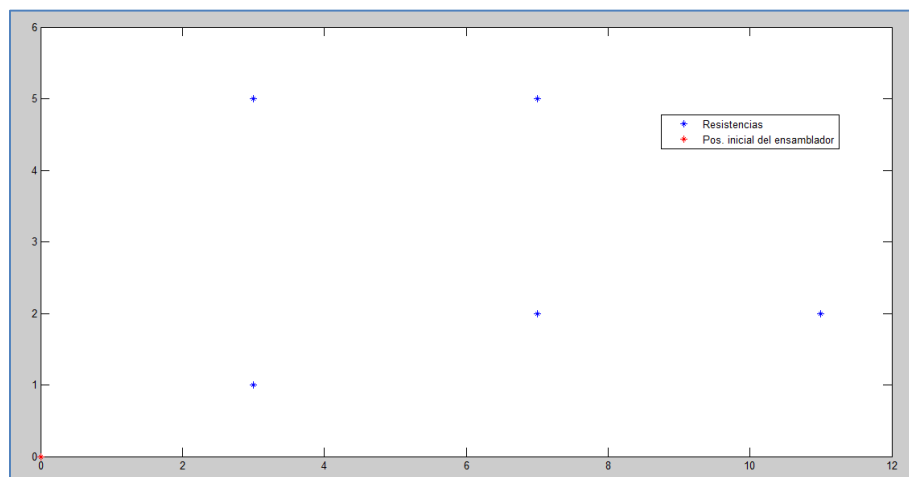
Antes de indicarle a la máquina el camino que debe hacer, nos tenemos que asegurar que haga el camino mínimo pasando por todas las posiciones en las que se debe colocar el tipo de pieza que estamos montando. Esto es importante puesto que nos interesa desgastar la máquina lo menos posible. De esta manera, conseguiremos alargar la vida útil de nuestros instrumentos, y por consiguiente, ahorraremos en nuestro presupuesto.

4.1 Resistencias

Debemos colocar 5 resistencias por placa. Éstas se deben poner en las siguientes posiciones:

RESISTENCIA	COORDENADA X	COORDENADA Y
1	3	1
2	3	5
3	7	5
4	7	2
5	11	2

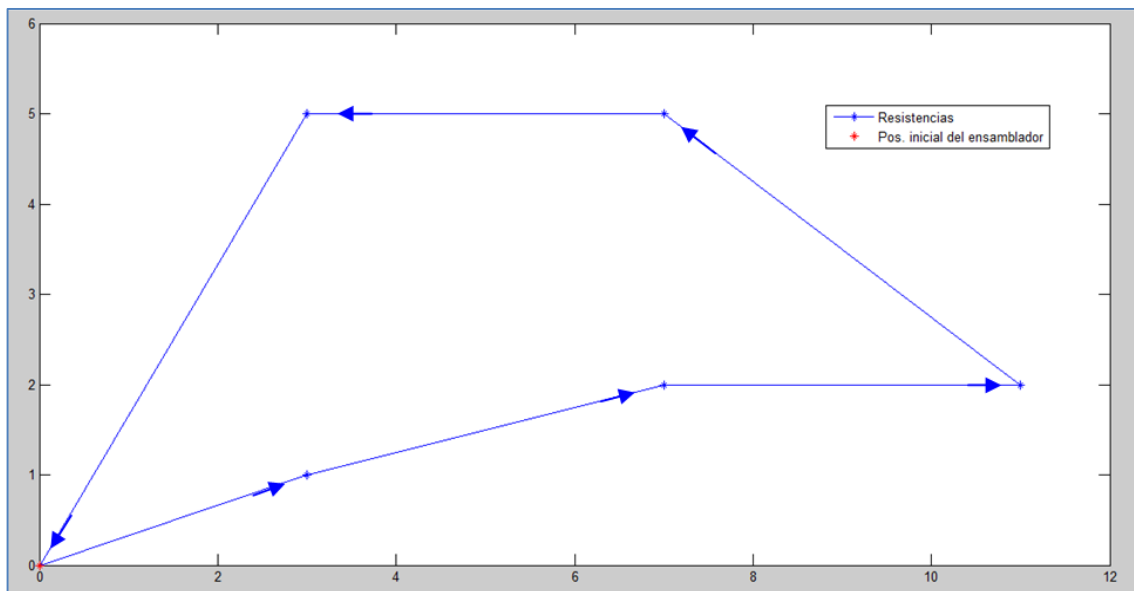
Siendo así el esquema de la placa:



Para calcular el trabajo mínimo que debe hacer nuestra máquina, hemos diseñado un programa (Anexo I) que nos resuelva el Problema del viajante (TSP) de estos nodos, empezando y acabando en el nodo inicial situado en (0,0).

	LOWER	LEVEL
Res1	.	.
Res2	.	4.000
Res3	.	3.000
Res4	.	1.000
Res5	.	2.000

Esta solución nos indica que el recorrido que debemos hacer es el siguiente:



4.2 Condensadores

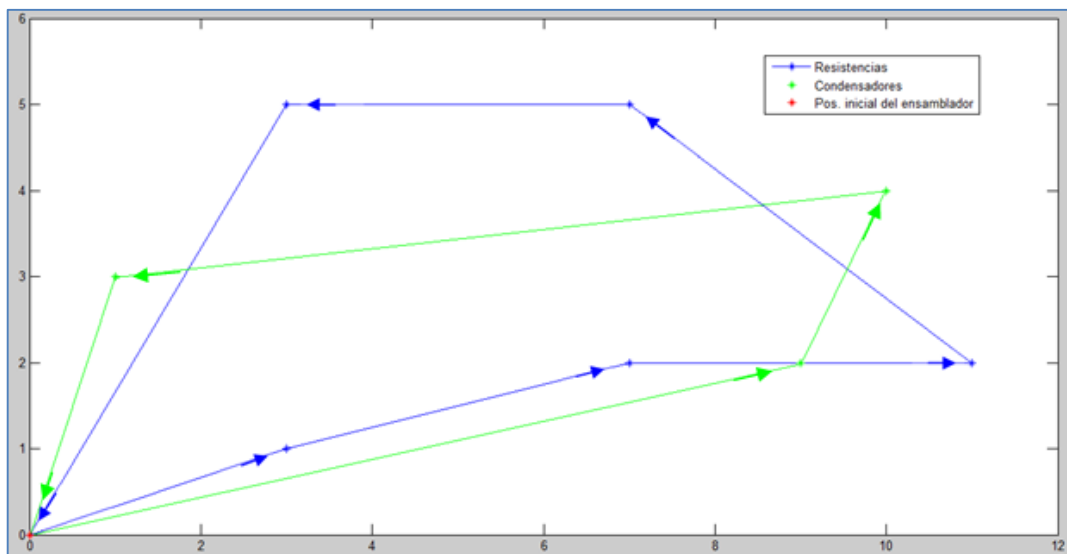
También tenemos que hacer el mismo proceso para ahorrar tiempo y dinero cuando montemos los condensadores. En este caso, solamente tenemos que ajustar tres condensadores situados en los siguientes sitios:

CONDENSADOR	COORDENADA X	COORDENADA Y
1	1	3
2	9	2
3	10	4

Obtenemos este resultado:

	LOWER	LEVEL
Con1	.	2.000
Con2	.	.
Con3	.	1.000

Que representa el siguiente camino, superpuesto con el camino previo para las resistencias:



Al final de nuestro montaje, hemos hecho recorrer a la máquina 49.76 centímetros (26.11 cm para las resistencias y 23.65 cm para los condensadores) por placa.

5 DISTRIBUCIÓN DE PLACAS

Una vez tenemos las 200 placas montadas y preparadas para ser distribuidas tenemos que contratar a ciertos repartidores para realicen esta labor. Hemos contactado con 7 motoristas que, pagándoles una parte fija de contratación y otra de gastos de gasolina, se encargan de transportar una cantidad de placas. Ya que cada motorista tiene una moto diferente, cada uno de ellos es capaz de transportar una cantidad diferente de placas.

El pago de los gastos (la gasolina) será en función del recorrido, por lo que será para todos los motoristas igual (0.1086 € / km).

Aquí tenemos una lista de los 7 motoristas que podríamos contratar:

MOTORISTA	COSTE CONTRATACIÓN (€)	CAPACIDAD (placas)
Javier Rodríguez	42	50
Manuel Díez	32	30
Paloma Cuesta	24	18
Jen Li	40	55
Michael Williams	38	80
José Pérez	35	70
Lucía Frías	28	25

Además, la lista de las 11 tiendas repartidas por Madrid juntos con sus direcciones y la demanda de placas requeridas podemos verla a continuación:

TIENDA	DIRECCION	DEMANDA (placas)
Circuitos Paco	Ronda de Atocha, 12	15
Apple Store	Plaza puerta del Sol, 1	20
Ohm My God!	Calle Fuencarral, 149	40
ContraCorriente	Calle Capitán Blanco Argibay, 153	12
Wan Li Amplificadores	Calle Canarias, 62	12
Oportunista	Avenida de Oporto, 69	8
Transistores 4ever	Calle Bandera, 12	18
Voltios Resistentes	Calle del Desengaño, 13	18
Diseños Electrónicos Mariano	Paseo de la Castellana, 259	19
Electrónica Pegaso	Calle Pegaso, 21	15
Componentes Alcalá	Calle Alcalá, 463	24

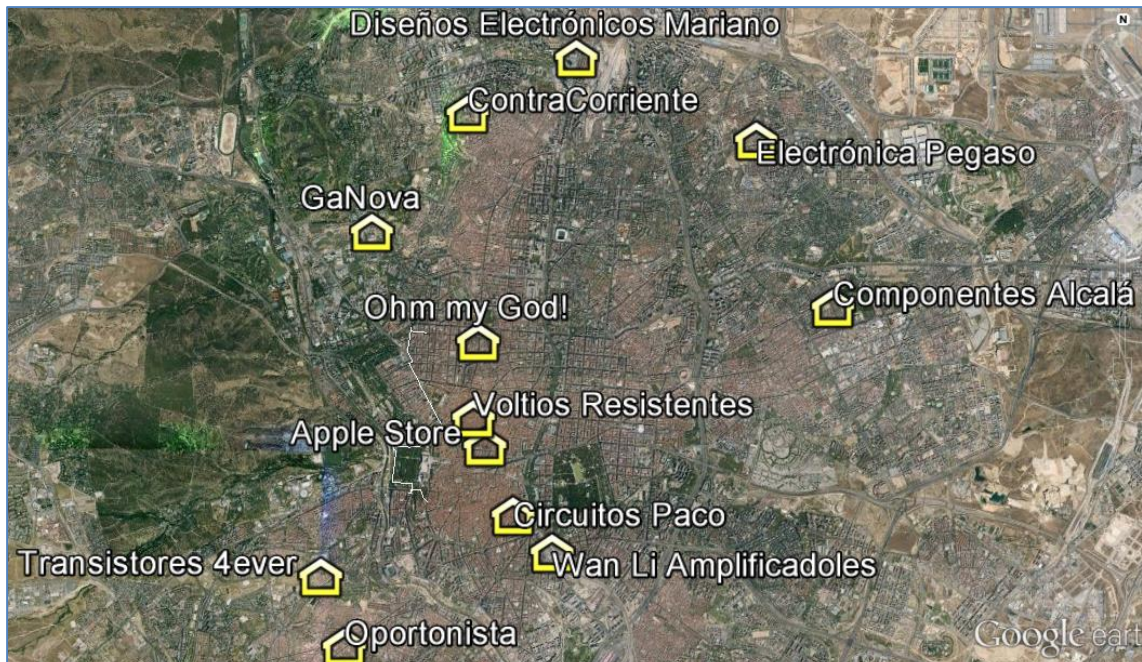


Ilustración 3 Mapa de la ciudad de Madrid con la ubicación de las tiendas a visitar y GaNova

Veremos, antes de modelizar el problema, cuáles son las variables que vamos a utilizar, así como los índices y los parámetros:

ÍNDICES:

- $i, j = 0, \dots, 11$ Las tiendas que vamos a visitar (para GaNova usaremos $i = 0$).
- $k = 1, \dots, 7$ Los motoristas.

VARIABLES:

- $x(i, j, k)$ Si el motorista k va desde la tienda i a la tienda j (1) o no (0).
Variable binaria.
- $u(i)$ Variable auxiliar de restricción de subciclos.

PARÁMETROS:

- $capmotos(k)$ Capacidad de transporte del motorista k .
- $contratacion_m(k)$ Coste de contratar al motorista k .
- $dem(i)$ Demanda exigida por la tienda i .
- $coste(i, j)$ Coste de ir de la tienda i a la tienda j .
- e_KM Coste estimado de recorrer 1 Km

Para calcular el coste total de esta operación debemos sumar los costes de contratación de los motoristas que contratemos, y el coste por los km que recorran:

$$\sum_{k=1}^7 \text{coste_contratación}(k) \cdot x('GaNova', j, k) + \sum_{i=0}^{11} \sum_{j=1}^{11} e_{KM} * \text{coste}(i, j) \cdot \sum_{k=1}^7 x(i, j, k)$$

Para poder resolver el problema correctamente debemos añadir ciertas restricciones:

- Cada ciudad sólo se puede visitar 1 vez (solamente por un único motorista):

$$\sum_{i=1}^{11} \sum_{k=1}^7 x(i, j, k) = 1 \quad \forall j = 1, \dots, 11$$

- Los motorista podrán ser contratados o no, pero en el caso de serlo, solamente saldrán de GaNova una vez:

$$\sum_{j=1}^{11} x('GaNova', j, k) \leq 1 \quad \forall k = 1, \dots, 7$$

- Un motorista que llegue para repartir a una tienda, debe salir de esa tienda para dirigirse a otra y seguir repartiendo.

$$\sum_{i=0}^{11} x(i, p, k) - \sum_{j=0}^{11} x(p, j, k) = 0 \quad \forall k = 1, \dots, 7; \forall p = 0, \dots, 11$$

- La capacidad de las motos debe ser mayor que la demanda de las ciudades que visite:

$$\sum_{i=1}^{11} \text{dem}(i) \sum_{j=0}^{11} x(i, j, k) \leq \text{capmotos}(k) \quad \forall k = 1, \dots, 7$$

- Restricción para eliminar los posibles subciclos:

$$u(i) - u(j) + 12 * \sum_{k=1}^7 x(i,j,k) \leq 11 \quad \forall i,j = 1, \dots, 11, i \neq j$$

De esta manera, ejecutando el programa GAMS con estas condiciones obtenemos que sólo contrataremos a 3 motoristas y nos saldrá por un total de 121.98€.

Empleado	Coste fijo (€)	Coste gasolina (€)	Pago (€)
Jen Li	40	1.78	41.78
Michael Williams	38	3.37	41.37
José Pérez	35	3.83	38.83
			Total (€)
			121.98€

Las trayectorias que deben seguir cada empleado son las siguientes:

Empleado	Trayectoria	Distancia recorrida (km)
Jen Li	1.- GaNova 2.- Voltios Resistentes 3.- Circuitos Paco 4.- Apple Store 5.- GaNova	16.4
Michael Williams	1.- GaNova 2.- Wan Li Amplificadores 3.- Oportunista 4.- Transistores 4ever 5.- Ohm My God! 6.- GaNova	35.3
José Pérez	1.- GaNova 2.- Diseños Electrónicos Mariano 3.- Componentes Alcalá 4.- Electrónica Pegaso 5.- ContraCorriente 6.- GaNova	31

En nuestra lista de motoristas disponibles se encuentran Jen Li y Michael Williams, los cuales han tenido malas experiencias trabajando juntos en otra empresa, por lo cual en su contrato hay una cláusula que no nos permite contratar a los dos a la vez.

Para modelizar de nuevo el problema solamente debemos añadir una restricción:

$$\sum_{j=1}^{11} x('GaNova', j, 'JenLi') + \sum_{j=1}^{11} x('GaNova', j, 'MichaelWilliams') \leq 1$$

Con esta restricción impuesta por las cláusulas de los contratos, obtenemos un resultado más caro (144.14€) ya que tenemos que contratar más motoristas. Los cuatro repartidores son: Manuel Díez, Michael Williams, José Pérez y Lucía Frías.

Empleado	Coste fijo (€)	Coste gasolina (€)	Pago (€)
Manuel Díez	32	1.55	33.55
Michael Williams	38	2.54	40.54
José Pérez	35	4.79	39.79
Lucía Frías	28	2.26	30.26
			Total (€)
			144.14€

Las trayectorias que debe seguir cada empleado son las siguientes:

Empleado	Trayectoria	Distancia recorrida (km)
Manuel Díez	1.- GaNova 2.- ContraCorriente 3.- Voltios Resistentes 4.- GaNova	14.3
Michael Williams	1.- GaNova 2.- Diseños Electrónicos Mariano 3.- Apple Store 4.- Ohm My God! 5.- GaNova	23.4
José Pérez	1.- GaNova 2.- Transistores 4ever 3.- Oportunista 4.- Circuitos Paco 5.- Wan Li Amplificadores 6.- Electrónica Pegaso 7.- GaNova	44.1
Lucía Frías	1.- GaNova 2.- Componentes Alcalá 3.- GaNova	20.8

6 CONCLUSIONES

- Antes de abordar cualquier proyecto es necesario realizar una planificación de las tareas como la planteada en el apartado 1 de este informe. De esta manera, podremos determinar qué tareas son aquellas en las que podemos retrasarnos o en cuales son las que debemos trabajar con más diligencia (tareas críticas).

Haciendo esto, hemos conseguido rebajar la duración del proyecto de un máximo de 34 días a, únicamente, 23 días.

- Al haber estudiado el pedido óptimo de piezas, hemos llegado a ahorrar cierto dinero. Si solamente hubiéramos pedido la demanda exigida habríamos ganado en el primer pedido, pero a la larga, saldríamos perdiendo. Ejemplo de la compra de placas:

Pedido = 200 piezas

Periodo	Gasto de pedido (€)	Gasto en piezas (€)	Gasto de piezas almacenadas (€)	Piezas almacenadas
I	27	$200 \cdot 1.44 = 288$	0	0
II	27	288	0	0
III	27	288	0	0
IV	27	288	0	0
TOTAL	108	1152	0	
$108 + 1152 = 1260 \text{ €}$				

Pedido = 268 piezas

Periodo	Gasto de pedido (€)	Gasto en piezas (€)	Gasto de piezas almacenadas (€)	Piezas almacenadas
I	27	$268 \cdot 1.28 = 343.04$	$68 \cdot 0.15 = 10.2$	68
II	27	343.04	$136 \cdot 0.15 = 20.4$	136
III	27	343.04	$204 \cdot 0.15 = 30.6$	204
IV	0	0	$4 \cdot 0.15 = 0.6$	4
TOTAL	81	1029.12	61.8	
$81 + 1029.12 + 61.8 = 1171.92 \text{ €}$				

- Nuestra máquina de montaje podría haber sufrido mucho más si no hubiéramos calculado el camino mínimo que tiene que hacer para montar las placas. Por ejemplo, para montar las resistencias, si nuestra máquina hubiera seguido el camino 0-4-2-5-1-3-0, habría hecho un recorrido de 43.13 cm en vez de 26.11 cm. De esta manera, hemos reducido en, aproximadamente, un 40% el trabajo hecho por la máquina.
- Igualmente, si no hubiéramos estudiado previamente el número de motorista a contratar y el camino que debían hacer, se podría haber contratado más motoristas de los debidos, teniendo un gasto muchísimo más alto del óptimo.

BALTO



MODELOS DETERMÍNISTICOS EN LOGÍSTICA
Máster en Ingeniería Matemática

Esther Hernández Serrano
Denis Coccolo Góngora

INTRODUCCIÓN

Balto (1919 – 1933) fue un perro de raza husky siberiano, nacido en el pequeño pueblo de Nome, Alaska. Considerado como el héroe de los niños del pueblo Nome. Balto ocupó los dos primeros años de su existencia a llevar comida para los menores de edad, pese a que se le consideraba como un perro bastante lento y muy poco adecuado para este trabajo.

A principios de 1925, una epidemia de difteria, una enfermedad mortal que afecta principalmente a niños menores de cinco años, se desarrolló en la aldea. Se requirió antitoxina diftérica urgentemente en todos los hospitales de la zona, por telegrama, las autoridades se enteraron que había algunas existencias en la ciudad de Anchorage, a más de 1000 millas (1609 kilómetros) de allí. Ante la dificultad de salvar dicha distancia para el traslado del suero, debido a que los mares estaban congelados no se podía llevar la antitoxina por barco y por la gran tormenta tampoco podía llevarse por vía aérea, se elaboró el plan de trasladar la antitoxina en ferrocarril desde Anchorage hasta Nenana y desde allí llevar los medicamentos en trineo arrastrado por perros hasta Nome, recorriendo 1000 kilómetros. Balto formaba parte del escuadrón B liderado por Gunnar Kaasen. Aunque el recorrido como guía fue muy pequeño, una vez llegados al pueblo, Balto se llevó todo el mérito ya que, a pesar de no ser un perro apto para ser el líder, logró cumplir su trabajo y guiar al resto.

El trabajo que aquí se plantea es una adaptación de este viaje, empezando por planificar el proyecto. Contando con el stock mínimo para garantizar la cura a todos los niños y finalmente recorriendo el camino de Nenana a Nome.

Vamos a suponer que hay 30 niños afectados. El objetivo es salvar [a todos los niños](#).

DATOS

- **LUGAR:** ALASKA
- **AÑO:** 1925
- **ENFERMEDAD:** epidemia de difteria
- **MEDICINA:** antitoxina diftérica. Vamos a hacerlo de la vacuna DPT, una mezcla de tres vacunas que inmunizan contra la difteria, Bordetella pertussis y el tétanos.
- **INGREDIENTES:** formol, purificados y absorbidos, inmunógenos derivados de B. pertussis.

A su vez la vacuna pertussis está compuesta por toxina de pertussis (Td), pertactina (PER), hemaglutinina filmentosa (HAF) y fimbrias 2 y 3 purificadas e inactivas.

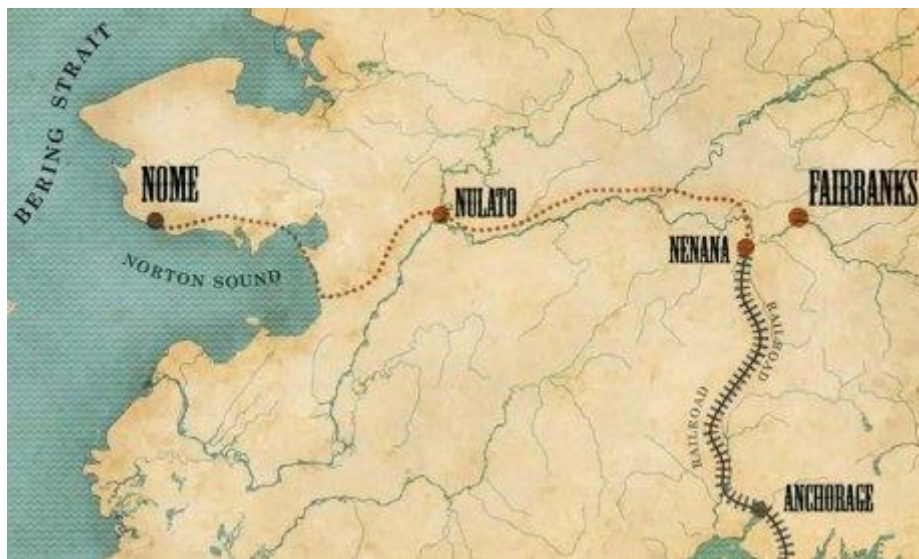
El medicamento está en Anchorage, se lleva en ferrocarril hasta Nenana y desde allí en trineo arrastrado por perros hasta Nome.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La idea es tener el máximo número de medicamentos para poder enviarlos, al menos sabemos que hay 30 niños afectados por difteria y el objetivo es salvarlos a todos. Pero si es posible enviar más ayuda, mejor, de esta manera se asegura que, si la enfermedad se propaga durante los días de tempestad podamos salvar a más personas.

Es difícil realizar estas operaciones a 1500 kilómetros de distancia, pero conociendo que el tiempo de incubación es de 2 semanas y se considera que es posible salvar al sujeto afectado por la enfermedad antes del tercer mes, ya que los remedios locales pueden frenar la enfermedad ese tiempo.

La situación es la siguiente: Los primeros síntomas aparecieron hace 13 días, es decir, se dispone de **33 DÍAS** para llevar el medicamento. De Anchorage a Nenana hay 305 millas, este viaje es posible realizarlo en tren y el trayecto dura entre 2 y 4 días debido a los problemas del temporal. Hay varias rutas desde Nenana a Nome, pero como ya se verá no todas están disponibles. La distancia entre estas dos ciudades es de unas 621 millas. Lo que tardemos en realizar el *proyecto*, contando la semana del ferrocarril será el número de días que tendremos para realizar la travesía Nenana-Nome.



PROBLEMA 1: MODELO EOQ Probabilizado

El primero de los problemas que se nos plantea es conocer el número de frascos que contienen la vacuna que debemos pedir para asegurarnos que podemos salvar a todos los niños. Viajar en trineo por las tierras de Alaska es muy complicado. Hay muchos factores que dificultan la travesía, principalmente el mal temporal que suele acostumbrar por allí, por lo que es muy posible que algún trineo se vuelque, perdiendo así algún frasco.

La idea es calcular un stock de seguridad para así asegurarnos de que si perdemos algún frasco, tengamos suficientes para salvar a los 30 niños. Como no queremos cancelar el envío de medicinas es necesario conocer esta cifra. Suponemos que cada niño necesita un frasco de medicina (vacuna) para salvarse.

Para calcular dicho stock de seguridad, disponemos de los siguientes datos:

- **$S = 30$** Número mínimo de frascos que necesitamos.
- **$l = 3$** Número de días que necesita el laboratorio para mandar las vacunas.
- **$\alpha = 0.10$** Máxima probabilidad de no poder curar a todos los niños por falta de frascos.
- **D** Variable aleatoria que representa el número de frascos que se rompen durante el viaje. (Demanda)
- **$d = 3$** Media de la v.a D
- **$\sigma = 1$** Desviación típica de la v.a D

Procedemos a los cálculos. Las incógnitas que se desean conocer son:

- **D_l** Demanda durante el plazo de entrega (v.a)
- **μ_l** Media de la v.a D_l
- **σ_l** Desviación típica de la v.a D_l
- **B** Stock de seguridad

$$\mu_l = dl = 9$$

$$\sigma_l = \sqrt{\sigma^2 l} = 1.732$$

$$B \geq z_\alpha \sigma_l = 2.225$$

Por lo tanto, deberíamos pedir el siguiente número de frascos para garantizarnos salvar a todos los niños.

$$S + [B + \mu_l] = 30 + [3 + 9] = 42$$

INTRODUCCIÓN A LOS PROBLEMAS 2 Y 3

Nuestro siguiente problema quizás sea el decisivo para poder cumplir nuestro objetivo. La vida de los niños depende de ello. Tenemos que trasladar la vacuna desde el pueblo de Anchorage hasta Nome y tenemos que tardar el menor número de días posible. No podemos enviar la vacuna por avión debido al mal tiempo, sólo hay tren en un tramo del viaje, y sólo hay ciertas zonas que están comunicadas... ¿Cómo vamos a hacerlo?

Por suerte, contamos con el mejor equipo especializado en este tipo de expediciones para que nos ayuden a decidir la mejor ruta. Nos sentamos con ellos a debatir las diferentes opciones que tenemos y ellos nos comentan que lo mejor sería dividir el tramo en 3 partes:

➤ **TRASLADAR LA VACUNA DESDE ANCHORAGE HASTA NENENA**

Tenemos la suerte de que este tramo está conectado por ferrocarril. Eso nos permite ganar tiempo ya que sólo tardaremos entre 2 y 4 días.

➤ **TRASLADAR LA VACUNA DESDE NENENA HASTA LA FRONTERA**

Aquí empiezan las dificultades, ya que sólo hay ciertos pueblos conectados. Lo positivo es que en ese trayecto el temporal suele ser bastante bueno... en el sentido de que no suelen haber problemas adicionales tales como avalanchas, tierras congeladas...

➤ **TRASLADAR LA VACUNA DESDE LA FRONTERA HASTA NOME**

Este trayecto es el más complicado de nuestra ruta, ya que presenta muchas dificultades adicionales, cómo ya hemos comentado. Así que, habrá que hacer un tratamiento especial y no se puede plantear como el problema anterior.

PROBLEMA 2: CAMINO MÍNIMO DESDE NENANA HASTA LA FRONTERA

Una vez tenemos claro los tramos en los que vamos a dividir nuestro viaje, toca decidir cuál es la mejor ruta a seguir en cada uno de ellos.

En el primer tramo no hace falta hacer ningún estudio porque la vacuna es transportada en ferrocarril. Así que, inmediatamente nos ponemos a pensar en el segundo de ellos.

¿Cómo vamos a llegar desde Nenana hasta cualquiera de los tres puntos de La Frontera tardando el menor número de días posible?

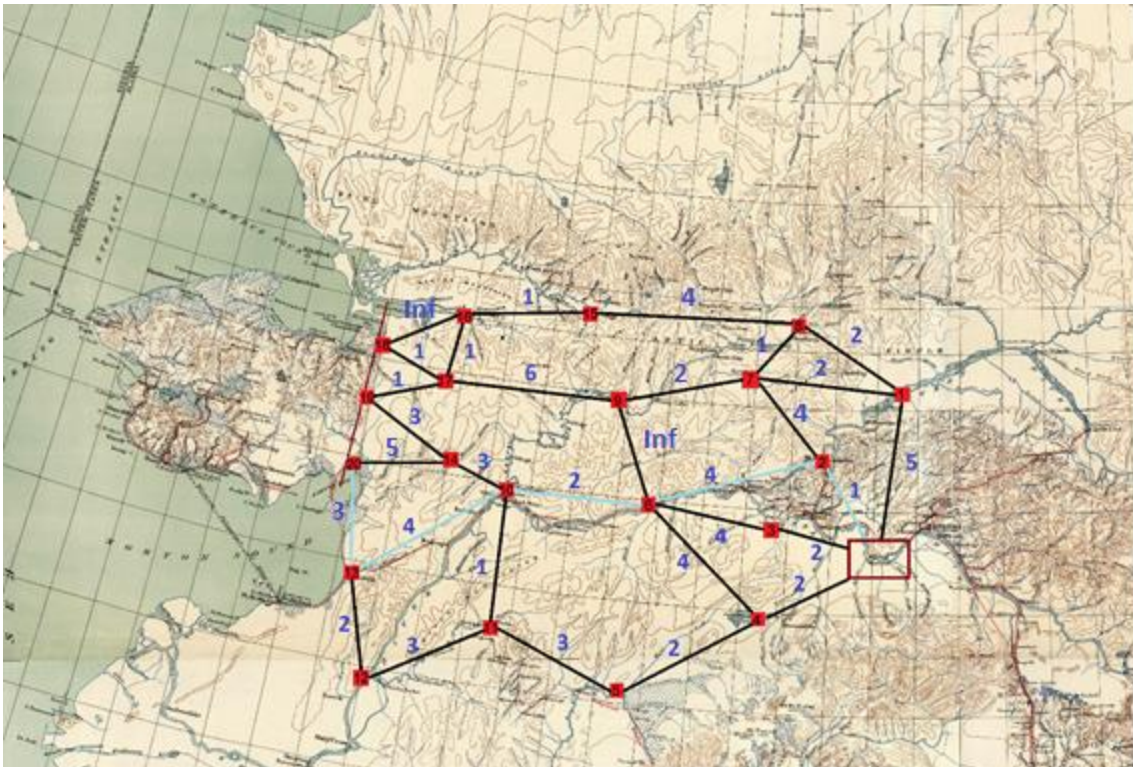
En 1925 se conocían varias rutas para llegar a La Frontera. El objetivo de la expedición es tardar el mínimo número de días desde Nenana.

Existen tramos difíciles donde no hay un camino claro u otros problemas como el desnivel de la ruta suponen un retraso significativo en completar la ruta. El camino para llegar a la península donde se encuentra Nome es montañoso, existiendo 3 puntos clave para poder pasar, los nodos 18, 19 y 20.

Debido a que el mar se encuentra congelado el único acceso es por tierra, recorrido que debería ser evitado siempre que se pueda por culpa de las grandes dificultades (fuertes vientos, nevadas, descensos, etc) que suponen estos caminos.

Trazando sobre el mapa todas las conexiones así como las duraciones entre los tramos que me vamos comentando, teniendo en cuenta que las duraciones son en días y si hay algún tramo del que se desconozca su tardanza o hay peligro de avalancha, su duración es de ∞ .

Queremos llevar la vacuna desde Nenana hasta La Frontera. Tenemos todos estos posibles caminos para llegar:

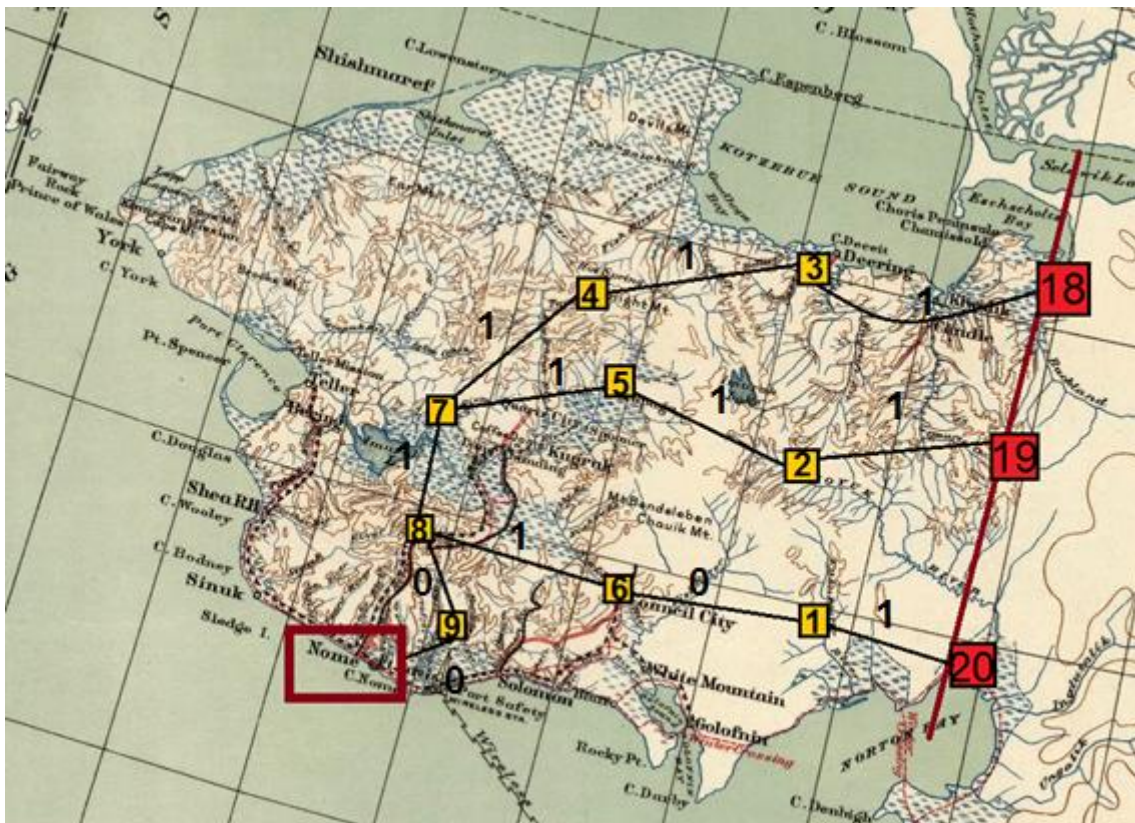


PROBLEMA 3: CAMINO MÍNIMO DESDE LA FRONTERA A NOME

En la península de Nome existen varias rutas poco utilizadas conectadas por refugios. Un viaje entre dos refugios es aproximadamente la misma distancia, pero en algunos trayectos, las dificultades que presentan los trayectos implican que debe descansarse en los refugios para recuperarse del viaje y preparar el siguiente.

Se sabe cuáles son los trayectos que presentan mayores dificultades, por lo que antes de iniciar la marcha deberán prepararse en los refugios.

La red de la península es la siguiente:



Para minimizar el número de días que se tarda en ir de Nenana a Nome se resolverá en dos pasos. El primero será hallar un camino mínimo de Nenana a los nodos de La Frontera, y el segundo encontrar el camino que, sujeto a las dificultades, pueda realizarse en el mínimo número de días de forma que, la suma de los dos caminos sea mínima.

- El problema 2 se resolverá con el algoritmo de Dijkstra pues así se conoce el número de días de viaje y el vector de predecesores.
- El problema 3 se resolverá con 3 modelos de programación matemática.
- Finalmente la suma de días que haga mínimo el viaje será la solución óptima.

Resolución del Problema 2

Implementando el algoritmo que se adjunta en el anexo I el número de días necesarios para ir de Nenana a cualquiera de los nodos 18, 19 y 20 son:

1) NODO 20

El camino mínimo al nodo 20 dura 14 días

El recorrido de Nenana a 20 es:

ans =

0 2 6 10 13 20

2) NODO 19

El camino mínimo al nodo 19 dura 13 días

El recorrido de Nenana a 19 es:

ans =

0 2 6 10 14 19

3) NODO 18

El camino mínimo al nodo 18 dura 13 días

El recorrido de Nenana a 18 es:

ans =

0 2 7 8 15 16 17 18

Resolución del Problema 3: Modelo de programación matemática

Parámetros:

ADY_{ij} : Matriz con ceros y unos que representa si existe conexión entre i y j

DIF_{ij} : Dificultad existente en el tramo i, j

Variables

$$X_{ij}: \begin{cases} 1 & \text{Si se hace el camino (i,j)} \\ 0 & \text{En caso contrario} \end{cases}$$

$$Y_j: \begin{cases} 1 & \text{Si se descansa en j} \\ 0 & \text{En caso contrario} \end{cases}$$

Modelo:

$$\min \sum_{i,j} X_{ij} + \sum_j Y_j \quad (1)$$

$$\sum_j X_{Eij} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_i X_{iN} = 1 \quad (3)$$

$$Y_j \geq X_{ij} DIF_{ij} \quad (4)$$

$$\sum_{j:j \neq i} X_{ij} = \sum_{j:i \neq j} X_{ji} \quad \text{con } i \neq E_i, i \neq N \quad (5)$$

$$X_{ij} \leq ADY_{ij} \quad (6)$$

- (1) Es la función objetivo. Se intentará minimizar el número de trayectos realizados y las noches en refugios.
- (2) Con esta restricción se garantiza que siempre se sale del nodo inicial.
- (3) Se garantiza que se llega a Nome.
- (4) Si el trayecto ha presentado dificultades entonces se debe descansar.
- (5) Conservación del flujo, es decir, la expedición llega y sale del nodo.
- (6) Con esta restricción se indica que no se puede ir de i a j si no existe camino.

Los resultados del código en GAMS son:

- Partiendo del nodo 20: se debe hacer noche en 2 refugios, es decir, 3 días
- Partiendo del nodo 19: 5 días
- Partiendo del nodo 18: 5 días

Finalmente los trayectos serían:

- Pasando por el nodo 20:

$$14 + 3 = 17 \text{ días}$$

- Pasando por el nodo 20:

$$13 + 5 = 18 \text{ días}$$

- Pasando por el nodo 20:

$$13 + 5 = 18 \text{ días}$$

Por lo tanto el camino escogido es el que pasa por el nodo 20 siguiendo el orden

Nenana – 2 – 6 – 10 – 13 – 20 – 1 – 6 – 8 – 9 – Nome

NOTA: El grafo de la fase 2 es bastante intuitivo pero debido a problemas con la licencia de GAMS se ha optado por reducirlo para hacer pruebas, siendo resuelto varias veces por NEOS solvers. Sin embargo, el problema de cargar la página con frecuencia motivó que redujésemos el número de vértices.

PROBLEMA 4: PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

El problema reside en que tenemos que llevar la vacuna DPT (necesitamos su fabricación) desde Anchorage hasta Nome y se tiene que hacer en un plazo máximo de **33 días**. Queremos conocer la probabilidad de que eso ocurra. Para ello, se ha planificado un proyecto con todas las fases necesarias para cumplir nuestro objetivo. Dichas fases son las siguientes:

- **A** → Obtener los componentes químicos de la vacuna Pertussis y Difteria
- **B** → Fabricar vacuna contra la Tétanos
- **C** → Fabricar vacuna contra el Difteria
- **D** → Fabricar vacuna contra la Bordetella Pertussis
- **E** → Obtener la vacuna DPT (mezcla de las 3 vacunas)
- **F** → Preparar todos los frascos que contienen DPT que serán llevados a Nome: Problema del stock (Problema 1)
- **G** → Reunir (Preparar) el equipo de la expedición (mushers y perros) que se encargarán de trasladar la DPT desde Nenana hasta Nome
- **H** → Llevar DPT desde Anchorage hasta Nenana por ferrocarril
- **I** → Preparar (Equipar) los trineos que se utilizarán para la expedición (Provisiones...)
- **J** → Decidir la ruta que se va a seguir para llegar desde Nenana hasta Nome: Problema del camino mínimo (Problema 2+ Problema 3)
- **K** → Trasladar los frascos de DPT desde Nenana hasta Nome

Por desgracia, no conocemos datos exactos del tiempo que va a costar cumplir cada fase ya que hay factores externos que no se pueden controlar (Temporal, stock mínimo, número de perros/mushers, etc). Pero, por suerte el pueblo de Anchorage/Nenana/Nome está preparado para casos como estos y tiene un historial donde guarda datos de anteriores expediciones con el mismo tipo de inconvenientes.

	MIN	MAX	MODA
A	1	2	1
B	2	3	4
C	1	2	2
D	1	2	2
E	3	5	4
F	1	1	1
G	1	2	1
H	2	4	3
I	1	2	1
J	1	1	1
K	17	20	19

Con estos datos se puede saber la duración de cada fase mediante la distribución beta, que nos dice que la

$$E[D_{ij}] = \frac{(\min + \max + 4m)}{6} \text{ y } V[D_{ij}] = \frac{(\max - \min)^2}{36}$$

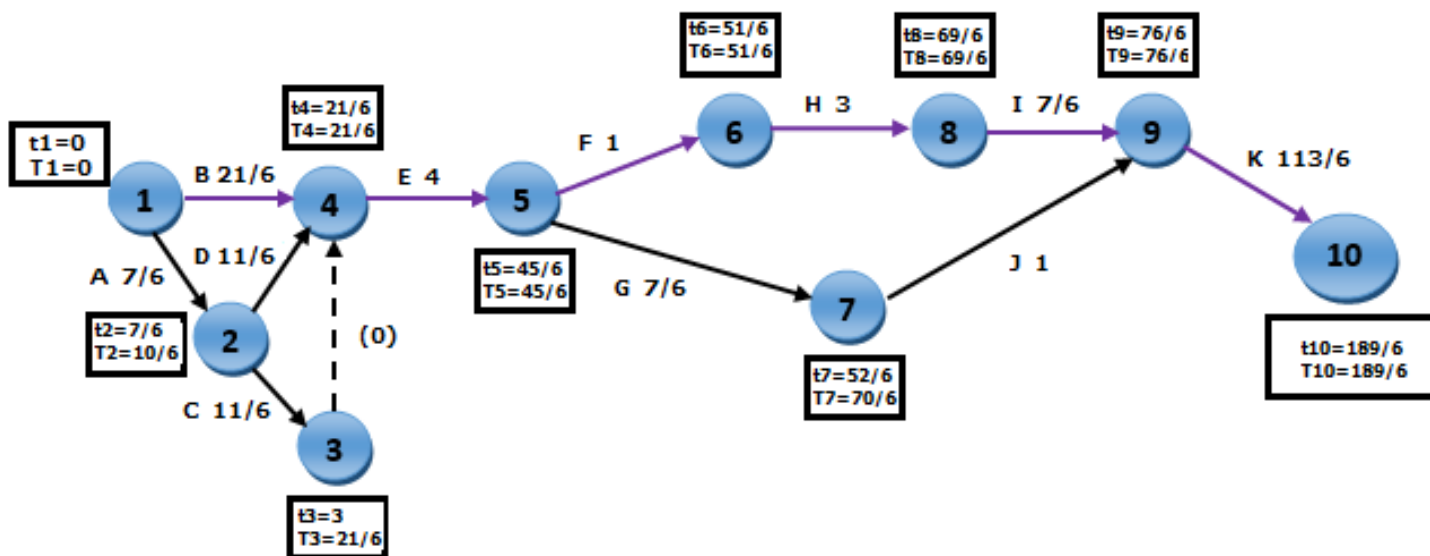
Por lo que, obtenemos la siguiente tabla:

	$E[D_{ij}]$	$V[D_{ij}]$
A	7/6	1/36
B	21/6	1/36
C	11/6	1/36
D	11/6	1/36
E	4	1/9
F	1	0
G	7/6	1/36
H	3	1/9
I	7/6	1/36
J	1	0
K	113/6	¼

En la siguiente tabla, se muestran todas las fases (sinónimos de fase, por favor...) que tienen que ocurrir para cumplir nuestro objetivo:

FASE	NOMBRE	PREDECESORES	DURACIÓN
A	Obtener Td, PER, HAF	-	7/6
B	Fabricar vacuna Tétanos	-	21/6
C	Fabricar vacuna Difteria	A	11/6
	Fabricar vacuna Pertussis	A	11/6
E	Obtener vacuna DPT	B, C, D	4
F	Preparar frascos DPT	E	1
G	Preparar equipo Nenana – Nome	E	7/6
H	Llevar DPT Anchorage – Nenana (TREN)	F	3
I	Preparar trineos	H	7/6
J	Decidir ruta	G	1
K	Trasladar DPT Nenana - Nome	I, J	113/6

Entonces, nuestro PERT queda de la siguiente manera → CAMINO CRÍTICO (en morado)



Si queremos ver que fases se pueden retrasar sin que afecte a otras actividades o al proyecto entero tenemos que ver las fases que no son críticas. En nuestro caso particular, son **A - C - D - G - J**.

FASES NO CRÍTICAS	DURACIÓN	HOLGURA TOTAL	HOLGURA LIBRE
A	7/6	$TF_A = \frac{1}{2}$	$FF_A = 0$
C	11/6	$TF_C = \frac{1}{2}$	$FF_C = 0$
D	11/6	$TF_D = \frac{1}{2}$	$FF_D = \frac{1}{2}$
G	7/6	$TF_G = 3$	$FF_G = 3$
J	1	$TF_J = 3$	$FF_J = 0$

Dado que se trata de un proyecto de vida o muerte, está bastante claro que cualquier retraso puede ser perjudicial para el proyecto. Si las fases A, C y J se retrasan lo más mínimo, inevitablemente van a perjudicar las fases posteriores a ellas, ya que tienen una holgura libre de 0. Si ese retraso es mayor que su respectiva holgura total, el proyecto se retrasará, lo que no es bueno si queremos garantizar llegar a tiempo para salvar a todos los niños. Puesto que el camino crítico es **B - E - F - H - I - K**, nuestro proyecto tiene una distribución de $N(189/6, 19/36)$. Sabiendo esto, ya podemos contestar a las preguntas que se nos planteaban al principio:

1-. ¿Cuál es la probabilidad de acabar el proyecto en 30 días?

$$P(CP \leq 30) = P\left(\frac{CP - \frac{189}{6}}{\frac{\sqrt{19}}{6}} \leq \frac{30 - \frac{189}{6}}{\frac{\sqrt{19}}{6}}\right) = P(Z \leq -2.06) = 1 - P(Z \leq 2.06)$$
$$= 1 - 0.9803 = \mathbf{0.0197}$$

2-. ¿Y de acabar en 33 días?

$$P(CP \leq 33) = P\left(\frac{CP - \frac{189}{6}}{\frac{\sqrt{19}}{6}} \leq \frac{33 - \frac{189}{6}}{\frac{\sqrt{19}}{6}}\right) = P(Z \leq 2.06) = \mathbf{0.9803}$$

3-. ¿Cuántos días necesito para acabar el proyecto con una probabilidad del 95%?

$$P(CP \leq x) = P\left(\frac{CP - \frac{189}{6}}{\frac{\sqrt{19}}{6}} \leq \frac{x - \frac{189}{6}}{\frac{\sqrt{19}}{6}}\right) = 0.95$$

$$\frac{x - \frac{189}{6}}{\frac{\sqrt{19}}{6}} = 1.645$$

$$x = 1.195 + 31.5 = \mathbf{32.7}$$

1. Presentación

La consultoría DíazPuente, formada por Ángela Díaz López y Rocío Puente Ochoa, se encarga de resolver problemas que surgen a lo largo de la vida diaria a múltiples personas a la hora de tomar sus decisiones y organizar su planificación, para conseguir un desarrollo óptimo.

Nuestra manera de trabajar es aplicando los conocimientos que hemos adquirido a lo largo de nuestra formación como Matemáticas y con los conocimientos de Modelización que hemos aprendido en el Máster de Ingeniería Matemática. Pues en un intercambio de opiniones entre las dos, nos dimos cuenta que, muchas veces, nos lleva mucho tiempo decidirnos para conseguir el mejor resultado sin ser capaces de ver que la decisión óptima existe y es tan sencillo como realizar una modelización del problema utilizando el algoritmo adecuado.

Comenzamos resolviendo casos cercanos, y con la mejor propaganda y la opinión del cliente, cada vez vamos aumentando nuestra lista de interesados.

En este trabajo vamos a redactar el problema de Gerardo, el protagonista de uno de nuestros últimos casos, el cual ha quedado tan agradecido que nos ha dado permiso para hacer público su problema y resolución.

2. Problema Planteado

Gerardo se puso en contacto con nosotras a través de email y dicho correo decía así:

Estimadas Ángela y Rocío,

Me dirijo a ustedes, porque me han comentado que os dedicáis a resolver problemas de la vida misma. No sé si el problema que planteo es el tipo que resolvéis. A continuación os lo presento:

Mi mujer, por motivos de trabajo, se tiene que marchar al extranjero el próximo mes de marzo, en consecuencia a ello, tengo que realizar todo el trabajo de ella que incumbe a la unidad familiar, más mi trabajo, y me veo incapaz de organizar mi tiempo.

Tengo que organizarme todas las mañanas para llevar a mis 4 hijos a sus respectivos centros educativos; el pequeño, Javier, a la guardería; los adolescentes a sus respectivos institutos, Enrique al instituto y Juan Ángel al colegio bilingüe; y, por último, Jaime a la escuela de Bellas Artes. A su vez, a la misma hora, mis obligaciones serán pasar por la panadería para comprar el pan y a la oficina de correos a mandarle la correspondencia a mi jefe como todos los días, que está en Andalucía. Necesito encontrar una ruta óptima para hacer todo y volver a casa cuanto antes para ocuparme de mis asuntos. Además mi mujer siempre me advertía que una vez dejaba al pequeño en la guardería no podía volver a pasar por ahí porque este le veía y rompía a llorar. Con los adolescentes tenía problemas porque se ponían chulitos y malotes delante de sus compañeros si les veían, mientras que al mayor no le gustaba reconocer que aún lo traían sus padres. De volver a pasar por la panadería, Umberto, el panadero, no había día en el que le intentara encasquetar las magdalenas recién elaboradas. Mi mujer me dijo que siempre coincidía con mi exjefe en la oficina de correos sobre la misma hora y no me apetecería cruzármelo. Además, si paso por la panadería justo antes que por la guardería, he prometido a Enrique dejarle a él en el instituto justo antes de pasar por la oficina de correos a mandar la correspondencia. No debo olvidar que el ayuntamiento de Toledo nos ha avisado que el primer fin de semana del mes, inclusive el viernes, muchas de las calles permanecerán cortadas por renovación de la corriente eléctrica. Da la casualidad que el viernes es la entrega de notas de mis tres hijos de edad más temprana y el mayor de todos tiene un examen, por lo que la prioridad es dejar cuanto antes a Jaime, pero como no me sobra mucho tiempo tengo que aprovechar para realizar mis otras obligaciones, y debo tener en cuenta que en la panadería tardaré 2 minutos porque a esas horas no hay mucha gente; si paso por el instituto me pararán diferentes profesores a contarme el mal comportamiento de Enrique y esto me llevará como 14 minutos, al igual que en el colegio bilingüe que me robarán como 8 minutos para darme la enhorabuena, en este caso. El pasar por la oficina de correos me hará perder 1 minuto. Además si llevo a Enrique al instituto antes de llegar a la Escuela de Bellas Artes, tengo que llevar inmediatamente después a Juan Ángel al colegio Bilingüe por acuerdo de la familia. El domingo, el primogénito tiene otro examen final, pero aquí sólo me encuentro con el problema de las calles cortadas.

Otra de las cosas que me preocupa son las tareas de la casa. En mi matrimonio, llegamos al acuerdo de que yo sería el que se encargaría de todos los arreglos técnicos y ella de las tareas, pero este mes me tocará realizarlas a mí. Por mi trabajo, he decidido dejarlas para el sábado pero no sé cómo organizarme para ir al supermercado a comprar la comida de la semana, a la droguería para comprar los productos necesarios para la limpieza de casa, hacer la comida, barrer toda la casa, fregarla, poner la lavadora y planchar. Mi gran problema este día es que el Real Madrid juega a las cuatro menos cuarto un partido muy importante y no me lo quiero perder. Necesito saber a qué hora tengo que empezar mis tareas para casi poder asegurarme de que lo podré ver. Mi mujer me ha dicho que el supermercado y la droguería abrirán sobre las once de la mañana por ser sábado, y que según su experiencia en el mejor de los casos puede tardar 25' en el primero y 6' en el segundo, en el peor de los casos 65' y 18' respectivamente, pero lo que ella siempre suele tardar son 36' y 12'. La duración de las otras tareas sí me las ha confirmado exactamente y os las proporciono en un archivo adjunto. Ahora bien, mi intención no es hacer esto todos los sábados yo solo, el primero sí que lo haré para enseñarles a mis hijos como se harían, para los demás sábados del mes necesito una organización para hacer las tareas de la casa entre todos, sin contar con el pequeño. No quiero que la plancha o la comida las hagan otros que no seamos mi hijo mayor o yo. Por su edad, a los dos del instituto solo vamos a asignarle una tarea y por no ser injusto al mayor como mucho dos. Eso sí, no quiero que ninguno de ellos se quede sin realizar al menos una tarea. He estimado los tiempos que podrían tardar cada uno de ellos en realizar cada una de las tareas y os lo adjunto en un archivo. Lo que me gustaría es tardar el mínimo tiempo posible para que así todos podamos disponer del máximo tiempo libre.

Ahora, centrándome en mi trabajo, mi jefe me ha ofrecido un presupuesto para poder construir unos almacenes de aceite de uso alimentario en Toledo y así suministrar a los clientes de la ciudad que abastecíamos desde la empresa de Andalucía. Pero no quiere que lo haga sin pensar, me exige que haga un planteamiento óptimo sobre los terrenos donde puedo construir dichos almacenes y cuántos serían necesarios para abastecer a los clientes. También quiere que sea yo el que decida con que almacén se sirve a cada cliente. Ya me he informado de los terrenos donde se puede construir. Según la localización del terreno se tiene un coste de construcción y otro coste que reflejara el valor de transportar una garrafa de aceite de cinco litros desde cada almacén a cada cliente. La oferta que en un principio me ofrece mi jefe para cada almacén es en meses, al igual que la demanda que solicitan dichos clientes. Estos datos os los facilito en otro fichero adjunto. Pero ahora bien, me pide que si el resultado óptimo, de construir un almacén o no, fijándonos en los criterios ya definidos, es menor que 3, la oferta ya no sería mirada por los valores que os entrego en un principio. Pues si consideramos que un almacén necesitaría alrededor de 200 garrafas de aceite por día y el precio de éstas es de 6.70€, se tendría un descuento del 20% si se pidieran en cajas de 600 unidades o más. El coste de este pedido sería de 150€ y el coste de almacenar una garrafa sumaría 0.7€. Necesitaría decidir si debo aprovechar el descuento en cada almacén.

Espero que podáis ayudarme a resolver mis problemas, muchas gracias de antemano y espero vuestra respuesta.

Saluda atentamente, Gerardo.