



# Cátedra Nissan

-PROTHIUS-

## Métodos Cuantitativos de Organización Industrial: Prácticas

*Joaquín Bautista Valhondo, Rocío Alfaro Pozo y Alberto Cano Pérez*

D-07/2011

*Departamento de Organización de Empresas*

Universidad Politécnica de Cataluña

**Publica:**

Universitat Politècnica de Catalunya  
[www.upc.edu](http://www.upc.edu)



**Edita:**

Cátedra Nissan  
[www.nissanchair.com](http://www.nissanchair.com)  
[director@nissanchair.com](mailto:director@nissanchair.com)

# Prácticas de Métodos Cuantitativos de Organización Industrial. (MQOI-EOI)

Joaquín Bautista, Rocío Alfaro y Alberto Cano

26 de octubre de 2011



# Prefacio

Algunos cronistas opinan que la primera expedición documentada sobre el profesor KESUNO fue la del Ártico. Corrían tiempos en los que el agujero en la capa de ozono no era preocupante y en los que las conversaciones sobre el cambio climático eran inexistentes.

Cierto es, que se le conocen a nuestro explorador otros lances anteriores y, sobre todo, posteriores, en compañía de sus colaboradores, y sin embargo amigos, Dew LIGHTHOUSE-WELL Y Otto von WEIßHAAR-PETERSEN, los cuales tendremos oportunidad de conocer... Pero esas son otras historias que deberán ser contadas en otra ocasión.

Joaquín Bautista Valhondo  
Rocío Alfaro Pozo  
Alberto Cano Pérez

Barcelona, julio de 2011



# Índice general

<b>1. EL GRAN CLAN</b>	<b>7</b>
1.1. Las expediciones . . . . .	7
1.2. El encuentro . . . . .	7
1.3. La Llanura Helada . . . . .	7
1.4. Que noche la de aquel día: <i>Alvanuit</i> . . . . .	8
<b>2. Deslocalización en la LLANURA HELADA</b>	<b>11</b>
<b>3. Lighthouse-Well en MALLORCA</b>	<b>13</b>
3.1. La nueva red eléctrica . . . . .	13
3.2. El plan de asistencia de averías . . . . .	14
3.3. Siempre conviene un plan B . . . . .	14
<b>4. Las 24 horas de VALKOINEN-MUSTA</b>	<b>15</b>
4.1. La carrera . . . . .	15
4.2. Los comerciantes . . . . .	16
4.3. Un plan de evacuación . . . . .	16
<b>5. Operación ÉXODO</b>	<b>17</b>
<b>6. Visita a los talleres DIÓGENES</b>	<b>19</b>
<b>7. Como muestra, un botón</b>	<b>21</b>
<b>8. BLALEVA y el ECSC</b>	<b>25</b>
<b>9. El ECSC y la industria química</b>	<b>27</b>
<b>10. Bodegas ELISA. Otra vez en Jerez</b>	<b>29</b>
<b>11. Como muestra, otro botón</b>	<b>31</b>
<b>12. Le Musée du Parfum</b>	<b>33</b>
<b>13. El Café de la ÓPERA</b>	<b>35</b>
<b>14. Alta Costura Barcino</b>	<b>37</b>
<b>15. La expansión de ALCOBA</b>	<b>39</b>
<b>16. Los herrajes de DIÓGENES</b>	<b>41</b>

<b>17. El accidente en ALPHAVILLE</b>	<b>43</b>
<b>18. Desayuno con el señor ESTEVE</b>	<b>45</b>
<b>19. La célula de DIÓGENES</b>	<b>47</b>
<b>20. Prevacaciones en Cannes</b>	<b>49</b>
<b>Apéndice</b>	<b>51</b>
<b>A. Miscelánea</b>	<b>53</b>
A.1. Ejercicio 1 . . . . .	53
A.2. Ejercicio 2 . . . . .	53
A.3. Ejercicio 3 . . . . .	53
A.4. Ejercicio 4 . . . . .	54
A.5. Ejercicio 5 . . . . .	54
A.6. Ejercicio 6 . . . . .	55

# Práctica 1

## EL GRAN CLAN

### 1.1. Las expediciones

El profesor y explorador japonés Kemalho KESUNO, en su última visita al Ártico, ha encontrado un clan de esquimales que tiene como principal sustento alimenticio la carne de foca. El consumo anual del clan es homogéneo y asciende a 500 focas al año, cantidad despreciable frente a la población de dicho animal. Pero para conseguir el alimento, el clan se ve obligado a realizar expediciones, compuestas por 20 hombres, que duran 12 días, independientemente del número de focas cazadas.

Una vez en casa, también es posible conservar indefinidamente una pieza, siendo el tiempo de conservación de la carne proporcional al tiempo de tratamiento para la conserva. Concretamente, si se desea conservar una foca durante un mes más, basta con la atención de un esquimal durante dos días completos (para dos meses hará falta cuatro días de atención por foca conservada, etc.).

KESUNO se plantea la siguiente pregunta: ¿cuántas expediciones deben realizar al año y cuántas piezas han de traer en cada una de ellas, para minimizar el trabajo que desarrolla el clan con estas tareas, medido en días de esquimal?

### 1.2. El encuentro

El jefe del clan, INUK, cuenta a KESUNO que en la última expedición se encontraron con otro grupo de esquimales con idénticas costumbres y características al suyo (idéntico consumo e idéntica forma de realizar las expediciones y la conservación de alimentos), y le formula esta pregunta: ¿qué gasto o ahorro de trabajo supondría realizar la caza conjuntamente?

### 1.3. La Llanura Helada

Durante la estancia de KESUNO en el Ártico, ambos clanes deciden unir sus esfuerzos, constituyendo el Gran Clan, con un nuevo jefe, INUK, nombrado en asamblea. Pero para cubrir las nuevas necesidades de espacio, la Asamblea de esquimales ha decidido el



traslado de la población a una llanura helada rectangular, de área igual a  $10000 \times 5000$  cce (codos cuadrados esquimales), que presenta las características adicionales siguientes:

- el lado largo superior está bordeado por un torrente de agua dulce que a veces se hiela;
- el lado largo inferior alberga a una colonia de focas ubicada junto al mar;
- en el vértice inferior derecho está localizado un cementerio de elefantes marinos de donde los esquimales extraen el marfil para sus armas;
- y en el vértice superior izquierdo hay una cueva en la que reside un grupo de osos y osas feroces que proporciona a los esquimales pieles, además de rica leche de osa obtenida por ordeño especializado mediante un procedimiento arriesgado de camuflaje.

Se estima que por cada visita a la cueva se realizan 3, 2 y 14 visitas al cementerio, a la colonia de focas y al torrente, respectivamente, y que la molestia que causa un desplazamiento es función del cuadrado de la distancia. La Asamblea de esquimales formula al profesor KESUNO la siguiente pregunta: ¿qué lugar es el más adecuado para construir los nuevos iglús, si éstos deben estar alejados de los osos y osas al menos 5000 ce (codos esquimales)?

#### 1.4. Que noche la de aquel día: *Alvanuit*

Cuando comienza la noche polar, que dura seis meses, los esquimales tienen la costumbre de celebrar una fiesta, *Alvanuit*, en la que toman una bebida típica, *Gelardent*, cuya elaboración se compone de las siguientes operaciones:

- (1) mezclar leche de foca y osa ( $1min$ );
- (2) derretir, manualmente, grasa de oso ( $3min$ );
- (3) moler pescado ( $2min$ );
- (4) macerar algas de alto poder alucinógeno, extraídas del fondo de los mares, imprescindibles para mantener la alegría de estas fiestas ( $4min$ );
- (5) picar hielo ( $2min$ );
- (6) batir leche con grasa y con algas, también con alegría, hasta que queda una masa espesa llamada *kinphastik* ( $3min$ );
- (7) hervir el pescado ya molido ( $3min$ );
- (8) obtener *peixkinphastik*: una mezcla de pescado hervido con *kinphastik* ( $1min$ );
- (9) colar el *peixkinphastik* para eliminar raspas y otras impurezas ( $1min$ ); y
- (10) añadir a la colada, hielo picado hasta el borde o al gusto ( $1min$ )

Como la fiesta *Alvanuit* propicia el encuentro de esquimales de todas las naciones, INUK, anfitrión de este año, ha estimado que será preciso elaborar 24 consumiciones de *Gelardent* por hora para satisfacer las apetencias de todos los invitados durante los festejos. Su preocupación les lleva a formular a KESUNO otra pregunta: ¿cuántos miembros del Gran Clan son precisos, como mínimo, para preparar las bebidas y qué tareas se asignarán a cada uno de ellos?



## Práctica 2

# Deslocalización en la LLANURA HELADA

El profesor y explorador japonés Kemalho KESUNO visita de nuevo el Ártico atendiendo a una cortés invitación de INUK: el Jefe del Gran Clan. Tras ser recibido con honores, KESUNO es informado por INUK sobre los cambios habidos en los últimos tiempos:

*“Amigo KESUNO”, dijo el Jefe “cuando tomamos la decisión de trasladarnos a la Llanura Helada, ninguno de nosotros sospechó que nuestro sustento alimenticio peligraría en algún momento. Al principio todo era perfecto, nuestra localización geoestratégica nos permitía un cómodo y rápido abastecimiento de víveres y útiles, pero, ahora, las focas (que nos nutren), las osas feroces (cuya leche obtenemos gracias a nuestro sofisticado sistema de ordeño camuflado), los osos feroces (cuyas pieles nos abrigan) y los elefantes marinos (cuyo marfil usamos para herramientas) han desaparecido”. Tras una pausa, INUK preguntó: “¿qué podemos hacer?”.*

*“Necesito datos. Soy todo oídos INUK”. Dijo KESUNO, al tiempo que cargaba su pipa.*

*INUK prosiguió: “Nuestros recursos iniciales han tomado direcciones distintas y divergentes; incluso los osos y osas se han ido, eso sí, parece que éstos decidieron, por consenso, seguir compartiendo sus vidas. Nuestra comisión de recursos desvela la siguiente situación: tenemos unos consumos anuales homogéneos ¡somos de costumbres! de 600 focas, 1000 ordeños de osa feroz, 200 pieles de oso y 20 colmillos de elefante marino”. KESUNO preguntó: “¿han pensado en abandonar la Llanura Helada?”. “¡No nos moverán!”. Respondió INUK con firmeza.*

*“Bueno, necesito más datos. Dígame INUK ¿a qué distancia están ahora los recursos?”. Dijo KESUNO dando una calada a su pipa.*

*“Precisamente, nuestra comisión de logística ha detectado, a 9 días de aquí en dirección sur, una colonia de focas; a 5 días hacia el este, hay una cueva de osos y osas feroces; y, a 6 días hacia el oeste, hay un cementerio de elefantes marinos. Estos recursos son ilimitados ante nuestras necesidades y podemos obtener cualquier cantidad de ellos, empleando 2 días de trabajo, con expediciones formadas por los únicos 20 miembros especializados que tenemos en el clan”. Respondió INUK.*

*“Supongo INUK, que su sistema de conservación de alimentos, una vez en casa, no ha cambiado, o sea, son 2 días de trabajo de un miembro del clan para conservar una foca durante un*

mes más, y 5 días de trabajo de uno de ustedes para mantener congelado el equivalente a 10 ordeños de leche de osa feroz durante un mes más. ¿Estoy en lo cierto?”. Preguntó KESUNO expulsando plácidamente el humo.

“Así es, amigo KESUNO ¡Qué prodigio de memoria la suya!”. Respondido INUK.

“Dígame INUK: ¿qué quiere saber, cuál es su meta y qué condiciones impone o le gustaría que se cumplieran?”. Preguntó KESUNO con interés.

“Me gustaría saber cuántas expediciones hay que hacer al año, cuántas podemos hacer como máximo y cuánto trabajo nos va a suponer en días de esquimal; también, quiero saber qué cantidad de focas, leche, pieles y colmillos debemos traer en cada expedición y la dimensión de los iglús-almacén para dichos bienes, así como el tiempo que debe transcurrir entre dos expediciones consecutivas para cada bien. En cuanto al objetivo, me interesa ante todo la supervivencia y que mi clan trabaje lo menos posible en conjunto. Y en cuanto a condiciones, quiero que ninguna expedición dure más de 24 días, dando, al menos, 10 días de descanso al regreso de cada expedición, y que el número de expediciones a lo largo del tiempo sea igual para todos los recursos”. Respondió INUK sin vacilar.

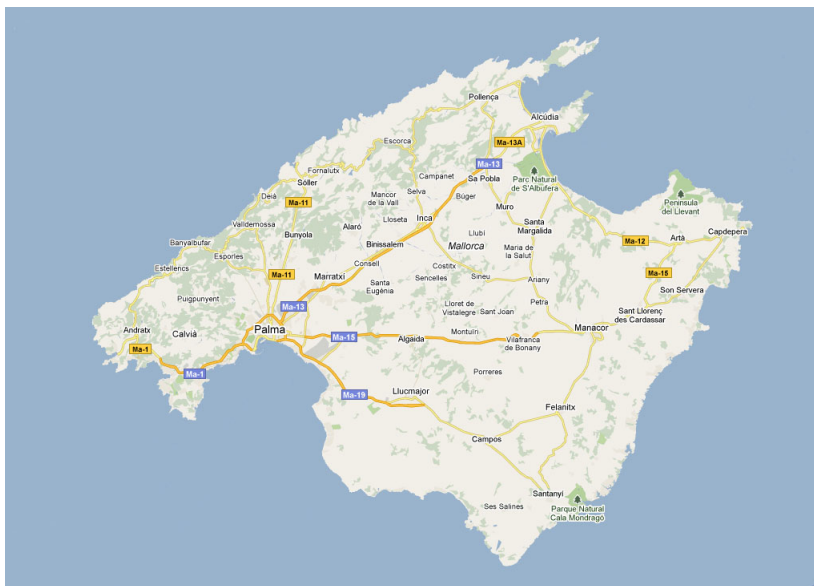
“Me pongo a trabajar en ello”. Concluyó KESUNO, frunciendo el ceño, mientras descargaba su pipa de golpe sobre un bloque de hielo.

# Práctica 3

## Lighthouse-Well en MALLORCA

### 3.1. La nueva red eléctrica

La profesora Dew LIGHTHOUSE-WELL es requerida como asesora, por el Gobierno Balear, para realizar un estudio sobre la renovación completa del tendido eléctrico en la isla de Mallorca. Para ello, la Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Territorio (CAMAT), ha elaborado una lista de las principales poblaciones que se verán beneficiadas por la futura de red (ver mapa y tabla de poblaciones).



#### Poblaciones

Palma  
Manacor  
Lluçmajor  
Artà  
Inca  
Marratxí  
Santanyí  
Calvià  
Sineu  
Andraxt  
Alcúdia  
Sa Pobla

LIGHTHOUSE-WELL propone los siguientes pasos para realizar el estudio de forma que la conexión entre poblaciones suponga un coste mínimo.

- Determinar las coordenadas geográficas correspondientes a la poblaciones.
- Calcular las distancias entre poblaciones.
- Establecer un árbol parcial que suponga un mínimo coste.

Siga los pasos de LIGHTHOUSE-WELL y podrá resolver el problema.

### 3.2. El plan de asistencia de averías

Ya en la isla, el Gobierno Balear requiere de nuevo el asesoramiento de LIGHTHOUSE-WELL para diseñar el plan de asistencia de averías en los siguientes supuestos:

- (d) Ubicando el centro de asistencia en la población de Palma.
- (e) Ubicando el centro de asistencia en la población de Manacor.

Inicialmente, se pretende dar cobertura de servicio al puerto de Alcúdia por su interés comercial. Posteriormente, el plan debe extenderse al resto de los municipios.

### 3.3. Siempre conviene un plan B

Más tarde, el Gobierno Balear, se plantea la posibilidad de diseñar un plan de emergencia descentralizado, con el que la asistencia en averías se realice con mayor rapidez. Dicho plan supone que cada población disponga de un centro asistencial, de forma que sea capaz de subsanar la avería en la población correspondiente o en otras cercanas si su centro asistencial no está disponible. Por este motivo, los conocimientos de la profesora Dew vuelven a ser requeridos.

Así, antes de marcharse a una nueva aventura con el profesor KESUNO y su compañero von WEIßHAAR-PETERSEN, LIGHTHOUSE-WELL se propone determinar qué centro asistencial deberá acudir a cada una de las poblaciones en caso de que el suyo propio no esté disponible en el momento del fallo de red.

Bajo estas circunstancias, ¿cuál será el plan que proponga la profesora?

# Práctica 4

## Las 24 horas de VALKOINEN-MUSTA

### 4.1. La carrera

LIGHTHOUSE-WELL, von WEIßHAAR-PETERSEN y KESUNO, en un nuevo viaje al Ártico, visitan de nuevo al amigo de éste último: INUK, jefe del Gran Clan.

El lúdico motivo de este nuevo encuentro entre culturas es la organización de una carrera de trineos (traccionados por renos en cuadriga) que se debe celebrar a propósito de la fiesta de *Alvanuit*; no obstante, no está previsto en los festejos que la carrera se extienda toda la noche polar y ésta quedará limitada a 24 horas ecuatorianas: Las 24 horas de *Valkoinen-Musta*.

Por si hubiera falta de conocimiento por parte del lector, *Valkoinen* y *Musta* son dos bonitos poblados esquimales federados al Gran Clan. Los otros 7 poblados de especial relevancia bajo la jurisdicción de INUK son: (1) *Punainen*, (2) *Oranssi*, (3) *Keltainen*, (4) *Vihreä*, (5) *Sininen*, (6) *Indigo* y (7) *Violetti*.

Los preparativos antes de la carrera han consistido en establecer pistas de hielo, empleando trineos quitanieves, que unen bidireccionalmente los poblados *Punainen-Oranssi*, *Punainen-Valkoinen*, *Oranssi-Vihreä*, *Keltainen-Sininen*, *Keltainen-Indigo*, *Keltainen-Violetti*, *Vihreä-Violetti*, *Sininen-Indigo*, *Sininen-Musta* y *Violetti-Musta*; las distancias de estas conexiones, medidas en miles de codos esquimales (*kce*), son 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34 y 55 respectivamente.

En estas circunstancias, Dew, Otto y Kemalho son requeridos por la Asamblea para analizar y dar respuesta a una serie de cuestiones que aquí detallamos:

- (a) Determinar el conjunto de pistas que hacen posible la conexión de los 9 poblados minimizando el trabajo de los trineos quitanieves.
- (b) Determinar la distancia mínima entre *Valkoinen* y *Musta*, respetando la red de transporte constituida por las pistas de hielo.
- (c) Número previsible de vueltas al circuito *Valkoinen-Musta-Valkoinen* teniendo en cuenta que la velocidad media de un trineo-cuadriga, en carrera de resistencia, es de  $20kce/h$ .



- (d) Considerando el relevo de una cuadriga de renos cada  $2h$  ecuatorianas de tiro ¿dónde será más conveniente establecer paradas de posta de renos?

## 4.2. Los comerciantes

La Asamblea, presidida por INUK, desea aprovechar las infraestructuras de transporte que se han creado con el acontecimiento deportivo. En efecto, la Asamblea desea mantener y conservar las pistas de hielo que han sido preparadas para la carrera de las 24 horas de *Valkoinen-Musta* y emplearlas para el desarrollo del comercio entre los 9 poblados: (1) *Punainen*, (2) *Oranssi*, (3) *Keltainen*, (4) *Vihreä*, (5) *Sininen*, (6) *Indigo*, (7) *Violetti*, (8) *Valkoinen* y (9) *Musta*.

Para ello, Dew, Otto y Kemalho son requeridos de nuevo para diseñar un sistema de mantenimiento de las pistas de hielo asistido por una instalación de único parque de trineos quitanieves que tendrá dos posibles localizaciones: *Valkoinen* o *Musta*.

En estas circunstancias ¿qué alternativa le parece que recomendarán nuestros exploradores?

## 4.3. Un plan de evacuación

La Asamblea de nuevo se preocupa por los miembros del Clan y desea establecer un plan de emergencia para su evacuación en caso de sobrevenir una tormenta polar.

Para ello, Dew, Otto y Kemalho son consultados de nuevo para determinar el poblado al que deberán ser evacuados los miembros de otro poblado que sufre una catástrofe natural de tales características.

En estas circunstancias ¿qué respuestas le parece que ofrecerán nuestros profesores?

# Práctica 5

## Operación ÉXODO

La experiencia en planes de evacuación, adquirida en el Ártico, por Dew, Otto y Kemalho, ha contribuido a que nuestros exploradores sean reclamados, esta vez, por el gobierno nipón.

KESUNO vuelve a casa ¡que recuerdos!

Tras una serie de entrevistas con técnicos de Industria e Interior, LIGHTHOUSE-WELL, von WEIßHAAR-PETERSEN y KESUNO son puestos al día sobre el riesgo que corre la ciudad de *Alfaville*, derivado de una excesiva actividad industrial no sostenible.

Después de unos días de trabajo, nuestros profesores redactan el siguiente informe:

---

### Propuestas para un plan de evacuación de *Alfaville*: OPERACIÓN ÉXODO

---

*Alfaville* tiene una población de 10 millones de habitantes. El crecimiento de la ciudad se ha debido, en gran parte, al enorme complejo industrial que se ha desarrollado a su alrededor. Algunas instalaciones de dicho complejo presentan un alto índice de peligrosidad, y en caso de accidente sería necesaria la evacuación de la población de *Alfaville*. Los habitantes serían llevados a *Omegaville*, ciudad situada a 200km al norte.

El Plan de evacuación de *Alfaville* (operación Éxodo) considera 5 puntos geográficos de apoyo (*Betaville*, *Gammaville*, *Deltaville*, *Zetaville* y *Kappaville*). Gráficamente, los vértices *Alfa*, *Beta*, *Gamma*, *Omega*, *Zeta* y *Kappa* (sentido horario) constituyen un hexágono regular de 100km de lado; el punto *Delta* está en el centro de dicho hexágono.

Para la confección de la operación Éxodo se tienen en cuenta 3 aspectos: (1) las conexiones entre puntos, (2) los medios de evacuación y (3) reglas metodológicas.

#### Las conexiones

Existe una línea de ferrocarril de 200km de longitud, entre *Alfa* y *Omega*, de

una sola vía en cada sentido. Existen tramos de carretera, en línea recta y de una sola vía en cada sentido, entre las poblaciones *Beta-Delta*, *Beta-Gamma*, *Kappa-Delta*, *Kappa-Zeta*, *Delta-Zeta* y *Gamma-Delta*; de dos vías en cada sentido entre las poblaciones *Alfa-Beta*, *Alfa-Kappa*, *Alfa-Delta* y *Zeta-Omega*; y de tres vías en cada sentido entre *Delta* y *Omega*.

### Los medios

- Trenes rápidos de 500 plazas, se dispone de un máximo de 20.
- Autobuses de 50 plazas, en principio se considera que se dispondrá de un número ilimitado.
- Automóviles de 5 plazas (sin limitación numérica).

### Las reglas

- El servicio de trenes funcionará ininterrumpidamente utilizando todos los trenes disponibles, con salidas a intervalos regulares de tiempo. Los trenes viajarán a una velocidad media de  $200\text{km/h}$ .
- Los autobuses viajarán a una velocidad media de  $70\text{km/h}$ . Por razones de seguridad deberán guardar entre ellos una distancia mínima de  $200\text{m}$  (se desprecian las dimensiones del autobús).
- Los automóviles viajarán a una velocidad media de  $110\text{km/h}$ . Por razones de seguridad deberán guardar una distancia mínima de  $50\text{m}$  (se desprecian las dimensiones del automóvil).
- En una vía sólo circulará un tipo de vehículo (o autobús, o automóvil).
- Un vehículo estará asignado a un solo tramo, cargando viajeros en el origen, descargando en el destino y volviendo al origen.

---

Una vez establecido el protocolo para hacer operativo el plan, nuestros profesores se plantean dos escenarios:

**Escenario 1.-** En los tramos de una y dos vías se utilizan autobuses, y se destinan, en el tramo de tres vías, dos para automóviles y una para autobuses.

**Escenario 2.-** Considerar las condiciones del Escenario 1, limitando el número de autobuses a 3000 unidades.

Para ambos escenarios, se solicita: ¿qué número de personas, como máximo, podrán evacuarse en una hora y qué medios serán precisos para realizar la operación?

Para ello suponga alcanzado el régimen permanente, fije un solo sentido de evacuación en cada tramo, cumpla las reglas, considere la disponibilidad de medios y evalúe su(s) propuesta(s).

¿Qué respuesta cree que darán nuestros amigos Dew, Otto y Kemalho?

## Práctica 6

### Visita a los talleres DIÓGENES

Dew, Otto y Kemalho viajan a Jerez de la Frontera invitados por el propietario de *Diógenes*, unos talleres dedicados a la fabricación de barriles destinados al sector vinícola y licorero.

Uno de los talleres de *Diógenes* se dedica a la fabricación de recipientes de madera de seis tipos distintos (*R1* a *R6*), según un proceso productivo compuesto de tres etapas: corte de madera, ensamblaje y acabado.

La sección de corte dispone de tres máquinas *M1*, *M2* y *M3*, las cuales pueden realizar semanalmente un máximo de 4000 piezas cada una. Las planchas de madera para *R1* y *R2* se cortan en *M1*, las de *R3* y *R4* en *M2*, y las de *R5* y *R6* en *M3*. Los tiempos de preparación de las máquinas y de cambios por tipo de pieza, se pueden suponer despreciables cuando se realizan series largas.

La sección de ensamblaje dispone de seis líneas especializadas (*P1* a *P6*). La línea *P1* está dedicada de manera exclusiva a *R1*, *P2* a *R2*, y así sucesivamente. Las líneas *P1* y *P2* pueden ensamblar a la semana hasta un máximo de 3000 piezas cada una, *P3* y *P4*, 2000 cada una, mientras que las capacidades de *P5* y *P6* son sólo de 1000 unidades a la semana.

La sección de acabado se compone de dos equipos: *A1* y *A2*. El equipo *A1* se encarga de colocar los accesorios y distribuir los recipientes *R1*, *R3* y *R5*; el equipo *A2* se encarga de los restantes. Cada equipo puede tratar un máximo de 5000 unidades a la semana.

Aprovechando el conocimiento de nuestros amigos, el propietario del taller les pide que le indiquen lo siguiente:

- (a) La producción semanal máxima que permite el taller, indicando las cantidades a fabricar de cada tipo de recipiente.
- (b) Los elementos que constituyen el cuello de botella del taller para la producción establecida.

¿Qué respuesta cree que darán los profesores Dew, Otto y Kemalho?



# Práctica 7

## Como muestra, un botón

Entre viaje y viaje, nuestros profesores tienen el encargo docente de hacer pruebas de evaluación a sus queridos alumnos. Dichas pruebas consisten en la resolución de ejercicios cortos, durante un tiempo limitado, sobre una temática específica.

Para esta ocasión, la temática seleccionada es el planteo de programas lineales.

Como muestra, un botón:

---

PRUEBA PLANTEO PL

MQOI-20110711

---

**Ejercicio-1.-** *Plantee un programa lineal para el problema “OPERACIÓN ÉXODO” para cada escenario.*

**Ejercicio-2.-** *Plantee un programa lineal para el problema “Visita a los talleres DIÓGENES”.*

**Ejercicio-3.-** *Se desea establecer un cableado de fibra óptica que conecte 6 ciudades (de C1 a C6). Se han determinado las distancias efectivas en km entre las ciudades (ver tabla adjunta). Plantee un programa lineal para determinar la red más económica.*

De A	C2	C3	C4	C5	C6
C1	50	64	82	26	60
C2	-	28	36	70	40
C3	-	-	32	58	65
C4	-	-	-	54	40
C5	-	-	-	-	80

**Ejercicio-4.-** *Una empresa envasa y distribuye derivados lácteos desde tres factorías: A1, A2 y A3, con unas disponibilidades de 1000, 3000 y 4000*

$tm$ , respectivamente, a cuatro centros de distribución:  $D1$ ,  $D2$ ,  $D3$  y  $D4$  con demandas idénticas e iguales a  $2000 tm$ .

Se desea obtener un plan de transporte óptimo, teniendo en cuenta que los costes por tonelada transportada son los que figuran en la tabla adjunta.

	$D1$	$D2$	$D3$	$D4$
$A1$	18	26	30	34
$A2$	24	28	20	16
$A3$	12	40	36	28

Plantee un programa lineal para resolver el problema.

**Ejercicio-5.-** El entrenador de un equipo universitario de natación de la prueba  $4 \times 100$  estilos debe establecer una asignación de los estilos nata-torios entre los cuatro deportistas seleccionados: Amat, Baena, Carvalho y Durruti. Los tiempos medios (en segundos) conseguidos por los nadadores individualmente en cada estilo (espalda, braza, mariposa y crol) figuran en la tabla siguiente:

	Espalda	Braza	Mariposa	Crol
<i>Amat</i>	61	59	63	59
<i>Baena</i>	63	63	58	61
<i>Carvalho</i>	61	59	62	58
<i>Durruti</i>	60	63	62	57

Plantee un programa lineal que permita establecer la asignación más oportuna y determinar el tiempo medio esperado para realizar la prueba  $4 \times 100$ .

**Ejercicio-6.-** Los 1000 agentes operativos de una ciudad se distribuyen en 4 turnos de trabajo de 8 horas diarias, sin interrupciones de presencia en la calle, que empiezan a las 6, 12, 18 y 24 horas.

La demanda (presencia de agentes en la calle) instantánea para un determinado tipo de día es:

<i>Franja horaria</i>	<i>Número de agentes operativos</i>
7 a 9	900
9 a 12	400
12 a 13	500
13 a 16	750
16 a 18	200
18 a 20	800
20 a 22	200
22 a 23	550
23 a 24	100
0 a 1	350
1 a 7	100

*Plantee un programa lineal que permita una asignación de agentes a turnos con el propósito de minimizar la discrepancia entre oferta y demanda.*

**Ejercicio-7.-** *Plantee un programa lineal para el problema de localización LA LLANURA HELADA considerando una distancia de tipo rectangular.*

**Ejercicio-8.-** *A BALDINI, conocidísimo perfumista del siglo XVIII, se debe el renombrado perfume 'Nuit de Florence' elaborado con esencia de ABABOL y con extracto de BEGAMOTA. Para que la fragancia fuera la adecuada cada 100g de perfume debía contener al menos 4g de esencia de A y a lo sumo 12g de extracto de B. BALDINI disponía de 5 productos exóticos cuya composición (de interés) y precio se dan a continuación:*

<i>Productos</i>	<i>p1</i>	<i>p2</i>	<i>p3</i>	<i>p4</i>	<i>p5</i>
<i>dg de A por g</i>	0.2	0.6	0.5	0.3	0.4
<i>dg de B por g</i>	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
<i>cmts. por g</i>	8	15	12	10	10

*Plantee el programa lineal asociado.*

Tiempo: 2h

---





# Práctica 8

## BLALEVA y el ECSC

Dew, Otto y Kemalho, después de las pruebas de evaluación, visitan a sus colegas, del ECSC (European Center for Soft Computing) ubicado en la localidad asturiana de Mieres.

Tras el efusivo encuentro, las risas correspondientes y un buen café, el investigador principal de la división ASI (Aplicaciones y Sistemas Inteligentes) plantea a nuestros amigos un nuevo problema relativo a la fabricación de rica leche asturiana, el cual exponemos brevemente a continuación:

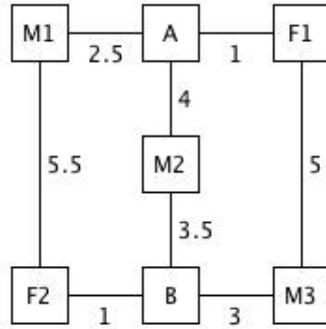
---

La empresa BLALEVA, S.A. (Blanca Leche de Vaca) se dedica al tratamiento, envasado y distribución de leche de vaca, elaborando tres productos ( $i$ ): leche desnatada ( $d$ ), entera ( $e$ ) y fresca ( $f$ ) - en formato de un litro-. Para ello, dispone de dos centros de producción ( $j$ :  $F1$  y  $F2$ ) y de tres centros regionales de distribución ( $k$ :  $M1$ ,  $M2$  y  $M3$ ) a los que llegan diariamente los productos envasados en las cantidades que han sido exactamente demandadas -  $D_{ik}$ -.

Los productos pueden ser elaborados en ambas fábricas, pero éstas presentan limitaciones de capacidad de producción diaria - $Q_j$ - , diferentes factores de pérdidas en el tratamiento de la leche - $r_{ij}$ - y diferentes costes de producción - $c_{ij}$ -.

La materia prima procede de dos centros de recogida de leche ( $l$ :  $A$  y  $B$ ), los cuales tienen una capacidad diaria de recogida (de leche en estado natural) limitada - $L_l$ - , y diferentes costes por cada litro de leche natural recogida - $\pi_l$ -.

El esquema de comunicaciones entre los centros de recogida, las fábricas y los centros de distribución es el representado en la siguiente figura, en la que se indican, además, las distancias en cientos de kilómetros de cada uno de los tramos.



Los costes unitarios de transporte de leche natural y de leche envasada por cada kilómetro y litro transportado son, respectivamente,  $\alpha$  y  $\beta$ .

---

En tales condiciones, nuestros profesores proponen:

1. Plantear un programa matemático que optimice la gestión de BLALEVA en un día concreto sin considerar riesgos.
2. Plantear un nuevo programa matemático, atendiendo a normas de seguridad, limitando el transporte por el tramo  $F1 - A$  a  $\Gamma_{F1-A}$  litros diarios y por el tramo  $F2 - B$  a  $\Gamma_{F2-B}$  litros diarios, independientemente del sentido de la circulación y de si la leche está envasada o no.

# Práctica 9

## El ECSC y la industria química

Camino al aeropuerto, el investigador principal de la división ASI propone a nuestros amigos un nuevo problema, esta vez vinculado a la industria química.

Helo aquí:

---

Una compañía de petróleos, que dispone de varias refinerías, recibirá, en los próximos cuatro meses, tres tipos de crudo ( $j = 1, 2$  y  $3$ ) en las cantidades  $p_1, p_2$  y  $p_3$  u/mes.

Los productos obtenidos a partir de la materia prima (crudo) son:

- ( $G$ ) gasóleo;
- ( $N$ ) gasolina normal y
- ( $S$ ) gasolina super.

Y los ingresos por unidad producida de cada tipo de producto son  $b_G, b_N$  y  $b_S$ .

Para conseguir dichos productos, las refinerías están dotadas de 2 tipos de proceso de destilación: con el primero de ellos se obtienen por cada sesión de destilación, 8, 4 y 2 unidades de  $G, N$  y  $S$ , respectivamente, a partir de una mezcla formada por 6 unidades de cada tipo de crudo; mientras que el segundo tipo de proceso produce 5 unidades de cada producto partiendo de una mezcla de crudos formada por 4, 5 y 6 unidades.

Cada sesión de destilación cuesta  $Cd_1$  y  $Cd_2$  um, según sea el tipo de proceso que se utilice. A su vez, el número máximo de sesiones de destilación, entre ambos tipos, que pueden hacerse en un mes es  $N_d$ .

Atendiendo a los estudios de demanda de los tres productos en los próximos cuatro meses, la compañía ha estimado que debe satisfacer las cantidades  $D_t^G, D_t^N$  y  $D_t^S$  unidades ( $t = 1, 2, 3$  y  $4$ ) de  $G, N$  y  $S$ , respectivamente.

Inicialmente, se parte de unas reservas de crudo que ascienden a  $p_{j_0}$ , ( $j = 1, 2$  y  $3$ ) unidades, y de un stock de productos  $G_0, N_0$  y  $S_0$ . La capacidad de

los depósitos, para albergar tanto las materias primas como los productos, puede suponerse ilimitada; también, para simplificar, pueden despreciarse los costes de almacenamiento.

---

En tales condiciones, se pide:

- (a) Dew, Otto y Kemalho prometen a su amigo plantear un programa lineal que permita obtener a la compañía el plan de producción de máximo beneficio para los próximos cuatro meses.

# Práctica 10

## Bodegas ELISA. Otra vez en Jerez

La prestigiosa empresa Bodegas ELISA (Expertos Licoreros, S.A.) se plantea la posibilidad de mejorar la gestión de una de sus plantas de tratamiento y almacenaje de vinos blancos. Por dicho motivo, Dew, Otto y Kemalho visitan de nuevo Jerez, esta vez invitados por el presidente de la compañía. Los vinos blancos, tras su selección y mezcla, se someten a un proceso de envejecimiento en bodegas que tienen una capacidad de  $N$  barricas suministradas por talleres DIÓGENES, las cuales son idénticas e intercambiables, en su función, una vez realizada la limpieza correspondiente.

El licor (mezcla de vinos envejecidos) puede ponerse a la venta 3, 5 o 10 años después de entrar en la bodega, en formato de botellas de 70cl, rellenas con el contenido de las barricas que incluyen, repletas y cada una de ellas, el equivalente a  $n$  botellas. En consecuencia, la planta de la empresa ofrece 3 productos: los licores de 3, 5 y 10 años de edad.

La mezcla inicial se obtiene a partir de 5 vinos blancos en las proporciones  $w_k$  [ $k = 1, 2, \dots, 5$ ]. Por otra parte, Bodegas ELISA considera para su estudio un horizonte de  $T$  años, y por ello, ha sido preciso realizar una previsión de precios de adquisición de los vinos, disponibilidades de los mismos en los próximos años y precios de venta en cada uno de los años y según la edad de la botella de licor; los resultados obtenidos son:

- $C_{kt}$  Coste de 1l de vino tipo  $k$  adquirido en el año  $t$
- $Q_{kt}$  Cantidad máxima (en litros) que podrá adquirirse de vino tipo  $k$  en el periodo  $t$ .
- $P_{it}$  Precio de venta de una botella de licor de edad  $i$  en el año  $t$ .

$$k = 1, 2, \dots, 5, t = 1, 2, \dots, T, i = 2, 5 \text{ o } 10$$

Después de una visita a la bodega, con la pertinente cata de finos e inmortalización de firmas en una barrica junto a la de Lennon y Yoko, paisana de KESUNO, nuestros amigos se disponen a plantear un programa lineal para optimizar la gestión de la planta.



# Práctica 11

## Como muestra, otro botón

De nuevo, nuestros profesores evalúan a sus queridos alumnos. En esta ocasión, la temática seleccionada es la programación lineal y análisis de sensibilidad.

Como muestra, otro botón:

---

PRUEBA PROGRAMACIÓN LINEAL Y SENSIBILIDAD

MQOI-20110713

---

### **Parte I**

*Una empresa elabora dos productos químicos (Q1, Q2) a partir de la mezcla de dos compuestos sólidos (S1, S2) disueltos en un combustible líquido. Para obtener  $1m^3$  de Q1 se requiere  $10kg$  de S1 y  $15kg$  de S2; análogamente,  $1m^3$  de Q2 precisa  $40kg$  y  $20kg$  de S1 y S2, respectivamente. La ganancia obtenida por cada litro de Q1 es de  $10um$ , mientras que para Q2 es de  $20um/litro$ . En el presente mes, se dispone de  $2.4 tm$  de S1 y de  $2 tm$  de S2, y como máximo se necesitan  $100m^3$  de Q1.*

- (a) *Escriba un programa lineal que permita obtener un programa de producción que maximice la ganancia mensual.*
- (b) *Escriba su dual e interprete el significado de las variables.*
- (c) *Resuelva el programa lineal planteado en el apartado (a) mediante el algoritmo simplex.*

### **Parte II**

*Nos afirman que una solución posible del problema anterior (Parte I) consiste en elaborar  $80m^3$  de Q1 y  $40m^3$  de Q2, sin que se alcance el límite impuesto a Q1.*

- (d) *Compruebe si dicha solución maximiza la ganancia mensual. En caso contrario, halle una solución óptima.*
- (e) *Determine el valor máximo de la ganancia por litro de Q1 para el que lo más rentable sea fabricar sólo del producto Q2.*
- (f) *Determine el valor mínimo de la disponibilidad de S1 para el que lo más rentable sea fabricar los dos productos.*



- (g) *Determine la ganancia total máxima que se obtiene al disponer de 1kg más de S2.*

*Partiendo de las condiciones iniciales del problema, se quiere analizar la posibilidad de elaborar un nuevo producto (Q3) que requiere 20kg de S1 y 20kg de S2 por cada  $m^3$ .*

- (h) *Determine el valor mínimo de la ganancia por litro de Q3 para que sea rentable su fabricación.*
- (i) *Considerando que la ganancia de Q3 se estima en 15um/litro, determine, si es posible, una solución óptima en la que estén presentes los tres productos. En caso contrario, determine los productos y sus cantidades con los que se obtiene la ganancia mensual máxima.*

Tiempo: 2h

---

# Práctica 12

## Le Musée du Parfum

El problema de la resolución de un sistema lineal de inecuaciones se remonta, al menos, a FOURIER.

Dew, Otto y Kemalho en una visita al *Musée du Parfum* en París descubren la relación que mantuvieron el ínclito físico-matemático francés y un conocidísimo perfumista del siglo XVIII: Giuseppe BALDINI.

A BALDINI se debe el renombrado perfume 'Nuit de Florence' elaborado con esencia de ABABOL y con extracto de BEGAMOTA. Para que la fragancia fuera la adecuada cada 100g de perfume debía contener al menos 4g de esencia de *A* y a lo sumo 12g de extracto de *B*. BALDINI disponía de 5 productos exóticos cuya composición (de interés) y precio se dan a continuación:

Productos	<i>p1</i>	<i>p2</i>	<i>p3</i>	<i>p4</i>	<i>p5</i>
<i>dg de A por g</i>	0.2	0.6	0.5	0.3	0.4
<i>dg de B por g</i>	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
<i>cmts. por g</i>	8	15	12	10	10

Se dice que en una de las tertulias a las que acostumbraban a asistir BALDINI y FOURIER, éste llegó a plantear un programa matemático asociado al problema.

Hoy en día, si utilizamos la programación lineal para determinar la mezcla de coste mínimo se obtienen los siguientes resultados:

Base	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>x1</i>	<i>x2</i>	<i>x3</i>	<i>x4</i>	<i>x5</i>	<i>x6</i>	<i>x7</i>	<i>x8</i>	<i>x9</i>
<i>x8</i>	M	40	0.2	0.6	0.5	0.3	0.4	-1	0	1	0
<i>x7</i>	0	120	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	0	1	0	0
<i>x9</i>	M	100	1	1	1	1	1	0	0	0	1
<i>x3</i>	12	25	0	7/4	1	-1/4	0	-5	-5/4	5	-1/4
<i>x5</i>	10	62.5	0	-5/8	0	7/8	1	5/2	15/8	-5/2	-5/8
<i>x1</i>	8	12.5	1	-1/8	0	3/8	0	5/2	-5/8	-5/2	15/8

Y nuestros profesores, Dew, Otto y Kemalho están convencidos que sus alumnos son

capaces de responder a las cuestiones que siguen en una sesión de prácticas partiendo siempre de las condiciones iniciales.

1. Formular e interpretar el programa dual.
2. Suponiendo que se exigen al menos  $4.5g$  de esencia de ABABOL por cada  $100g$  de perfume, ¿cuál sería la nueva solución óptima?
3. ¿qué precio máximo deberían tener los productos descartados para que fuera rentable su utilización en la mezcla óptima? ¿qué nuevas soluciones se obtendrían?
4. ¿sería interesante un producto con  $0.3dg$  de  $A$  y  $1dg$  de  $B$  (por gramo de producto) a un precio de  $9ctms/g$ ?

# Práctica 13

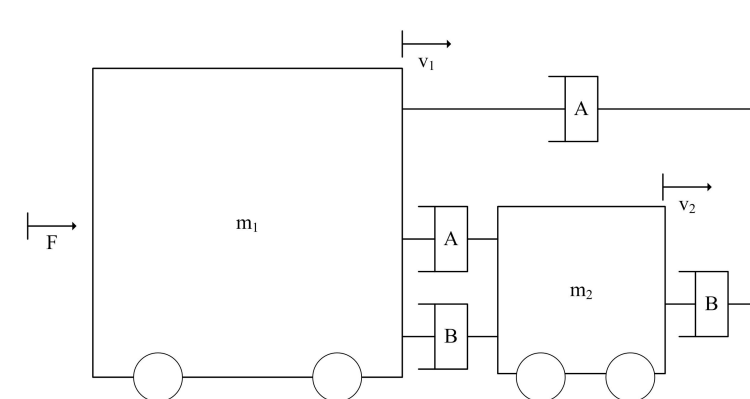
## El Café de la ÓPERA

Tras la visita al *Musée du Parfum*, Dew, Otto y Kemalho deciden tomarse un descanso, acompañado de un café, en una terraza parisina junto al Café de la Ópera.

Aprovechando la tarde de asueto, Otto pone sobre la mesa elegida, las notas y esquemas que, sobre un sistema de amortiguación (ver figura) en fase de diseño preliminar, podrán ser útiles para el desarrollo de una patente.

---

El prototipo dispondrá de cuatro grupos amortiguadores de dos tipos distintos, *A* y *B*, para los que se quiere determinar sus coeficientes de rozamiento viscoso (en traslación),  $f_A$  y  $f_B$ , de forma que sean lo más apropiados para satisfacer las condiciones que se especifican a continuación:



- C1: La fuerza ( $F$ ) ejercida sobre la masa  $m_1$  será igual a  $1200Nw$ . Esta masa se desplazará a velocidad  $v_1 = 1'5m/s$ , y su aceleración será nula.
- C2: La masa  $m_2$  tendrá un valor de  $500kg$ , y su aceleración no será superior a  $1m/s^2$ . El valor de  $v_2$  elegido para representar las condiciones del ensayo es  $0,5 m/s$ .
- C3: El coeficiente de rozamiento viscoso del grupo *A*,  $f_A$ , no debe ser superior a  $500Nw \times s/m$
- C4: Se considera despreciable el rozamiento a la rodadura asociado a ambas masas.

C5: Las ecuaciones simultáneas, adoptadas para describir de forma simple el comportamiento dinámico del sistema son:

$$\begin{aligned} F - v_1 \times f_A - (v_1 - v_2)(f_A + f_B) &= m_1 \times a_1 = 0 \\ (v_1 - v_2)(f_A + f_B) - v_2 \times f_B &= m_2 \times a_2 \end{aligned}$$

C6: La potencia ( $P$ ) instantánea absorbida por un grupo amortiguador  $x$  (con  $x$  igual a  $A$  o  $B$ ) se evaluará de la forma  $P_x = \rho_x \times f_x \times (\Delta v_x)^2$ ; donde  $\Delta v$  es la diferencia de velocidades entre brazos de un grupo y  $\rho$  simboliza su rendimiento.

---

Entre sorbo y sorbo de café, Dew escribe sobre una servilleta de papel, el siguiente plan de trabajo:

- (a) Plantear un programa lineal que maximice la potencia absorbida instantáneamente en la amortiguación del sistema, teniendo en cuenta que el rendimiento de un grupo  $B$  será (por motivos de diseño y de fabricación) del orden de un 30 % superior a uno del  $A$ .
- (b) Plantear el programa dual e interpretar el significado de las variables.
- (c) Resolver el programa lineal planteado en el apartado (a) mediante el algoritmo simplex.

Después de tres iteraciones sobre algunas otras servilletas, Dew se dirige a Otto y a Kemalho diciendo: intuyo que una solución posible del problema es  $f_A = 400Nw \times s/m$  y  $f_B = 200Nw \times s/m$ .

¿Podéis comprobar si dicha solución maximiza la potencia absorbida en la amortiguación? ¿Me confirmáis cuál es el óptimo?

Posteriormente, Kesuno sugiere analizar la sensibilidad de algunos elementos del sistema, para ello, plantea las siguientes preguntas:

- (d) ¿En cuánto aumenta o disminuye porcentualmente la potencia absorbida por cada  $kg$  de  $m_2$  en relación a la situación inicial?
- (e) ¿Qué valores debe tener la fuerza  $F$  para poder prescindir de algún tipo de amortiguador? Si es el caso, indique qué rangos tiene  $F$  y qué grupos actúan.
- (f) ¿Qué relación se debe cumplir entre los rendimientos de ambos tipos de grupos para que actúen en la disipación de potencia sólo los grupos  $A$ , sólo los  $B$ , ambos grupos?

# Práctica 14

## Alta Costura Barcino

ALCOBA (Alta Costura Barcino) se dedica básicamente a la confección de ropa de dormir para damas y caballeros. Entre sus modelos destacan los de la línea NEOS OLYMPUS compuesta por los conjuntos: AFRODITA, ATENEA, APOLO y ARES. Todas las prendas tienen por materia prima la última novedad en celulosa ecológica incombustible, suave al tacto y aromatizada con sutiles fragancias.

El profesor Kemalho KESUNO, ya en Barcelona, comunicó la existencia de este revolucionario producto a su amigo Otto von WEIßHAAR-PETERSEN, un destacado experto en ciencias de la computación, quien, por encargo del comité organizador de un congreso internacional de informática, del cual es miembro nuestro héroe, se interesó de inmediato encargando a ALCOBA 1200 conjuntos de cada tipo de la línea NEOS OLYMPUS. Dichas prendas se incluirán en la cartera que se regala a todos los asistentes al congreso durante el Registro, tras la apertura del congreso o, alternativamente, a la entrada del recinto, donde se celebra el Cocktail de bienvenida.

ALCOBA tiene una semana, de 40 horas, para salir victoriosa ante este reto alemán; y dispone para ello de cuatro secciones de confección,  $S_1$  a  $S_4$ , cuyos costes por hora de funcionamiento son idénticos e iguales a 15000  $um$ , mientras que sus tasas de producción máximas, medidas en número de conjuntos a la hora, difieren entre sí y son función del tipo de prenda a fabricar, tal como se muestra en la tabla adjunta.

	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
AFRODITA	150	150	150	300
ATENEA	300	150	150	100
APOLO	75	75	75	60
ARES	60	75	75	100

El director de producción de ALCOBA ha concluido que cualquier sección tiene capacidad sobrada para completar el pedido en menos de una semana. Su ayudante, una joven ingeniera industrial usuaria de ATENEA, ha intentado convencerle de que las secciones están constituidas por personas y máquinas las cuales, al carecer del don de la ubicuidad, sólo son capaces de realizar una cosa al mismo tiempo, aunque, claro está, existe la posibilidad del trabajo en paralelo.

Profundamente preocupado, el director ha enviado un *e-mail* a KESUNO para saber si

podrá servir a tiempo el pedido y la forma en que debe distribuir sus recursos. KESUNO le ha contestado con mucha seriedad y amablemente, con las siguientes propuestas:

---

**De:** Kemalho KESUNO

**Para:** Director de producción ALCOBA

**CC:** Otto von WEIßHAAR-PETERSEN

---

**Asunto:** Distribución de recursos en ALCOBA

---

- a) Determine un plan de mínimo coste de funcionamiento de manera que cada sección realice un solo tipo de prenda. Calcule su coste y el tiempo mínimo para completar el pedido.
- b) Determine un plan de mínimo coste de funcionamiento de forma que las secciones  $S_1$ ,  $S_2$  y  $S_4$  realicen el mismo número de prendas, reservando  $S_3$  para otros pedidos. Calcule su coste y el tiempo mínimo para completar el pedido.
- c) Plantee un modelo para determinar el plan de mínimo coste de funcionamiento teniendo en cuenta las limitaciones de las secciones, pero sin decidir a priori qué y cuánto debe realizar cada una. Determine un plan intuitivamente, calcule su coste y el tiempo mínimo para completar el pedido.
- d) Estudie las alternativas anteriores, coméntelas con su ayudante, resúmalas y envíeme otro *e-mail*.

*Sayonara!*

Kemalho KESUNO

---

# Práctica 15

## La expansión de ALCOBA

La exitosa acogida en el mercado que ha tenido la gama NEOS OLYMPUS de ropa de dormir fabricada en ALCOBA, ha propiciado la creación de un departamento de logística que contratará los servicios de distribución física a un operador especializado.

Dew, Otto y Kemalho son requeridos de nuevo para mostrar sus habilidades ante la detección de nuevos problemas y la resolución de los mismos y, por consiguiente, elaborar un informe preliminar sobre el marco de las operaciones logísticas de distribución.

---

### Informe 0: Distribución física NEOS OLYMPUS

---

**Para:** Operador logístico

**CC:** Departamento de logística ALCOBA

---

La empresa ALCOBA debe distribuir sus prendas de dormir desde el almacén central *A* hasta 5 centros regionales (*R1* a *R5*), a través de unas vías de comunicación adecuadas que se muestran en la figura 15.1, en la que la cifra asociada a cada arco indica el tiempo medio (horas) de transporte entre vértices.

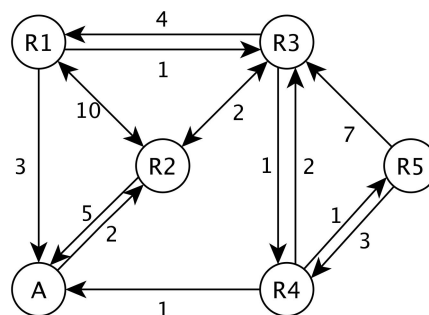


Figura 15.1: Vías de comunicación entre centros regionales y el almacén central de ALCOBA.



El operador logístico puede emplear 5 vehículos ( $V1$  a  $V5$ ), que tienen un tarifa horaria igual a 1000, 1200, 1500, 1800 y 2000  $um/h$ , respectivamente. Estos vehículos, además, ocasionan un coste fijo por viaje de ida y vuelta al almacén estimado en 50000 para  $V1$  y  $V2$ , 20000 para  $V3$  y  $V4$ , y 10000 $um$  para  $V5$ .

En tales condiciones:

- (a) Es preciso determinar un plan de transporte con el fin de minimizar el coste total, teniendo en cuenta que los viajes son de ida y vuelta (al almacén), que todos los centros regionales deben ser servidos, y que cada vehículo sólo puede servir a un centro por razones de capacidad y horarios.
  - (b) Es preciso evaluar el plan determinado en (a) e indicar detalladamente la ruta que debe seguir cada vehículo.
  - (c) Es preciso determinar y evaluar un nuevo plan teniendo en cuenta que la capacidad volumétrica de cada vehículo  $V1$  a  $V5$  es de 15, 20, 25, 30 y 35  $m^3$  por viaje, y que la demanda solicitada, en promedio y por día, por cada centro regional es la equivalente a 100  $m^3$  de ropa de dormir.
-

# Práctica 16

## Los herrajes de DIÓGENES

Reclamados de nuevo por el propietario de Talleres DIÓGENES, nuestros amigos, Dew, Otto y Kemalho, vuelven a Jerez. En esta nueva visita se enfrentan a un sistema productivo, destinado a la fabricación de herrajes para toneles, que trabaja a dos turnos de 8 horas al día cada uno.

Una vez allí, el propietario les acompaña al taller y les explica las características del mismo.

*El taller de herrajes dispone de 5 motores con idénticas propiedades, necesitando que 2 de ellos estén en funcionamiento constantemente. Los otros 3 motores permanecen en espera para una posible sustitución en caso de avería de alguno de los 2 motores operativos.*

*El tiempo medio de funcionamiento de cualquiera de los motores es de 120 horas. Cuando un motor se estropea, se pone en marcha inmediatamente un equipo de mantenimiento y reparaciones que emplea, en promedio, 15 horas para arreglarlo.*

*Por otra parte, la sustitución de un motor averiado por otro que funcione se puede considerar instantánea y se puede suponer que el taller no deja de funcionar cuando se lleva a cabo esta operación. Lógicamente, cuando 4 o 5 motores están averiados, el taller deja de funcionar, lo que representa un coste por parada en la fabricación evaluado en 1000 um por hora, mientras que el coste de un equipo de mantenimiento trabajando a 2 turnos es de 4000um al mes.*

*También cabe la posibilidad de disponer de un motor adicional con un coste de 6000um por mes.*

A partir de estos datos, el propietario reta a nuestros expertos, realizándoles las siguientes preguntas:

- (a) ¿Qué proporción de tiempo funciona el taller de herrajes?
- (b) ¿Puede mejorarse la situación incrementando los motores de repuesto y los equipos de reparación? En caso afirmativo ¿qué es más rentable, un equipo de reparación más o un motor de repuesto más?
- (c) ¿Cuál es el número óptimo de motores de repuesto y de equipos de reparación?

¿Cuál cree que será la respuesta de los profesores?

Nota: Las distribuciones de los tiempos de funcionamiento y de reparación se consideran exponenciales. Un mes tipo tiene 20 días laborables.

# Práctica 17

## El accidente en ALPHAVILLE

Una catástrofe en ALPHAVILLE ha obligado a poner en marcha un servicio de emergencia hospitalaria para atender a una parte de la población accidentada.

Una vez hechas las primeras estimaciones sobre el suceso, se encarga a Otto el mando de las operaciones de atención a los heridos.

Resumidamente, las reglas establecidas son:

- Cada hora habrá que atender a 60 accidentados en promedio.
- El servicio debe ser tal que el 99 % de los accidentados no esperará a ser atendido más de 5 minutos.

Para conseguir el objetivo, OTTO dispondrá de dos alternativas:

1. Emplear unidades de emergencia FUJI, con cada una de las cuales el tratamiento de un accidentado dura en promedio 4 minutos.
2. Emplear unidades de emergencia YAMA, con las que se emplea, en promedio, 3 minutos por cada accidentado.

En cuanto a los costes de las unidades de emergencia: la implantación de una unidad YAMA supone un 50 % más que la de una unidad FUJI, incluyendo los costes de mantenimiento y gestión.

Otto, tras este encargo, se pone rápidamente en contacto con Dew y Kemalho para resolver el problema.

¿Qué equipos propondrán nuestros amigos en estas circunstancias?

¿Y si la calidad de servicio debe ser tal que el 999 por mil de los accidentados no tenga que esperar a ser atendido más de 10 minutos?



# Práctica 18

## Desayuno con el señor ESTEVE

El señor Esteve TRÍAS PALS está interesado en estudiar el funcionamiento de su restaurante, BUON APPETITO, y de regular el flujo de sus clientes durante las cenas que se prolongan entre las 19h y las 24h.

Para hablar sobre el tema, el señor Esteve invita a Dew, Otto y Kemalho a un desayuno de trabajo.

Tras aceptar esta amable invitación, nuestros profesores son informados del siguiente modo:

Los clientes acostumbran a llegar en grupos de 2, 3, 4 o 5 personas con probabilidad 0.4, 0.3, 0.2, y 0.1, respectivamente. El restaurante tiene 50 mesas para dos personas cada una. Estas mesas se pueden agrupar para los grupos de más de 2 personas.

Cuando llega un grupo hace cola a la espera de encontrar mesa(s). Sin embargo, si ya hay cinco grupos en la cola, los recién llegados desisten de esperar. Una vez sentados el tiempo que transcurre hasta que el grupo es servido se distribuye uniformemente entre 15 y 20 minutos. La duración de la comida se distribuye normalmente con media de 60 minutos y desviación tipo 15 minutos. Cuando los clientes han terminado de comer, se dirigen a la caja a pagar. El tiempo que tarda el cajero en atender a cada grupo se distribuye uniformemente entre 2 y 4 minutos.

El intervalo de llegadas entre dos grupos sucesivos se ajusta a una distribución exponencial con media de 4 minutos. Nos gustaría simular el funcionamiento del restaurante durante las cenas y recoger estadísticas sobre:

- (a) El número de clientes servidos y el número de clientes que abandonan.
- (b) El número medio de mesas utilizadas.
- (c) El número medio de grupos esperando para recibir mesa.
- (d) La ocupación del cajero.
- (e) El número medio de grupos ante la cola del cajero.

Si el restaurante cierra sus puertas a las 24 horas:

- (f) Evaluar la hora de salida del último grupo que sale del restaurante.
- (g) Indicar el tiempo medio que un grupo permanece en el restaurante.
- (h) Estimar la reducción del tiempo medio de estancia en el restaurante en caso de disponer de un cajero adicional.
- (i) Si no se desea que los clientes abandonen el restaurante, manteniendo las condiciones de cola limitada, y tampoco se desea que los clientes esperen más de cinco minutos, en promedio, ante la cola del cajero ¿qué medidas proponen para mejorar el servicio?
- (j) Si el precio medio de una cena es de  $40um$ , ¿qué incremento del ingreso bruto medio diario se puede estimar con las medidas propuestas?

Después de degustar la finísima repostería de BUON APPETITO acompañada, eso sí, por capuchinos, nuestros amigos prometen al señor Esteve ponerse a trabajar en el asunto.

# Práctica 19

## La célula de DIÓGENES

Talleres DIÓGENES reclama de nuevo la presencia de nuestros amigos; lo que significa: más fino, más alegría y más trabajo.

En esta ocasión, el propietario les explica el funcionamiento de una de sus células flexibles:

Ciertas piezas se mecanizan en una célula automática de fabricación que consta de dos máquinas de control numérico y un robot industrial. Todas las piezas se procesan en la misma secuencia, primero en la máquina 1 y después en la 2. El tiempo de mecanizado de cada máquina se distribuye normalmente con media de 50 segundos y desviación tipo de 5 segundos. Las piezas son transportadas por el robot desde la estación de entrada a la primera máquina, mecanizadas en ésta, transportadas a la segunda máquina, mecanizadas y finalmente transportadas a la estación de salida.

La manipulación del material la efectúa automáticamente el robot controlado por computador, que responde a la petición de transporte de la estación de entrada, de la máquina 1 o de la máquina 2. Estas peticiones de transporte son enviadas automáticamente al robot cuando una pieza llega al sistema o una máquina termina una operación (se da prioridad a las peticiones que llegan de la estación de entrada, y en el resto se emplea una regla FIFO).

El tiempo que precisa el robot para insertar o retirar una pieza de una máquina o para agarrar o soltar una pieza en las estaciones de entrada o salida se distribuyen uniformemente entre 5 y 10 segundos. El tiempo entre llegadas se distribuye exponencialmente con media  $120s$ . La distancia de recorrido entre la estación de llegada y la primera máquina es de  $2m$ , entre máquinas  $1.5m$  y entre la segunda máquina y la estación de salida  $1m$ . El robot se mueve a la velocidad de  $0.5m/s$ .

En tales condiciones, nos gustaría que nos ayudaran en lo siguiente:

- (a) Simular el sistema durante  $8h$ .
- (b) Determinar el tiempo que pasa cada pieza en la célula.
- (c) Determinar la utilización de cada máquina.
- (d) Determinar la utilización del robot.



(e) Número de piezas en espera en la estación de llegada.

Nuestros profesores aceptan colaborar con talleres DIÓGENES en el estudio propuesto y dar una respuesta al propietario de DIÓGENES lo antes posible.

# Práctica 20

## Prevacaciones en Cannes

Antes de tomar unas merecidas vacaciones, Dew, Otto y Kemalho visitan Cannes, invitados por el Presidente del Jurado del Festival.

La organización desea estudiar el funcionamiento de la “cola de un cine” estándar donde se proyectan las últimas películas de estreno a nivel mundial.

Las leyes de llegada y servicio pueden variar según la estimación realizada, por lo que se consideran los siguientes escenarios:

- (a) *Escenario-1*: Los espectadores en potencia llegan según un proceso de Poisson con una media de 5 *personas/min*.

Existe una sola taquilla que tarda en despachar 5s cada entrada en término medio, siguiendo una ley exponencial.

Se desea obtener en régimen permanente lo siguiente:

$P_0$   $\equiv$  Probabilidad de que no haya ningún espectador en el sistema de colas.

$L$   $\equiv$  Número medio de espectadores en el sistema.

$W$   $\equiv$  Tiempo medio de estancia en el sistema.

Se desea comparar los resultados obtenidos con una simulación que considere que la cabida del cine es de 100 personas y considerando que el sistema inicialmente está vacío.

- (b) *Escenario-2*: Se desea realizar una simulación con los siguientes parámetros, disponiendo de dos taquillas:

$\lambda = 5$  llegadas/min (Poisson).

$t_s \equiv 2 + e$  ; donde:

$t_s \equiv$  tiempo de servicio en cada taquilla.

$e \equiv$  número de entradas.

El número de entradas sigue la siguiente ley discreta:

$e$	1	2	3	4	5
$p(e)$	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1

Estudiar  $L$ ,  $W$  y  $P_0$  para una capacidad de 100 personas.

(c) *Escenario-3*: Idénticas condiciones que en el *Escenario-2*, pero considerando una única taquilla.

En una cena con el Presidente del Jurado, el señor DE NIRO, nuestros profesores son puestos al corriente sobre los deseos de la Organización, y éstos se comprometen a dar una solución a los problemas planteados antes de tomarse unas vacaciones que, dicho sea de paso, servirán para retornar con fuerza a las clases y afrontar nuevos retos intelectuales en futuras aventuras de las que habrán de disfrutar todos, sin duda alguna. Vale.

# Apéndice



# Apéndice A

## Miscelánea

### A.1. Ejercicio 1

Se desea establecer una red de comunicaciones que conecte 5 ciudades ( $C1$  a  $C5$ ). La red estará compuesta por autovías de doble sentido, para lo que se han determinado las distancias efectivas en  $km$  entre ciudades (ver tabla adjunta). Determine la red de comunicaciones de longitud total mínima.

De A	C2	C3	C4	C5
C1	50	64	82	26
C2	-	28	36	70
C3	-	-	32	58
C4	-	-	-	54

### A.2. Ejercicio 2

Se desea establecer un cableado de fibra óptica que conecte 6 ciudades (de  $C1$  a  $C6$ ). Se han determinado las distancias efectivas en  $km$  entre las ciudades (ver tabla adjunta) ¿Qué red propone como más económica? Indique la longitud del cableado.

De A	C2	C3	C4	C5	C6
C1	50	64	82	26	60
C2	-	28	36	70	40
C3	-	-	32	58	65
C4	-	-	-	54	40
C5	-	-	-	-	80

### A.3. Ejercicio 3

Una empresa envasa y distribuye derivados lácteos desde tres factorías:  $A1$ ,  $A2$  y  $A3$ , con unas disponibilidades de 1000, 3000 y 4000  $tm$ , respectivamente, a cuatro centros de distribución:  $D1$ ,  $D2$ ,  $D3$  y  $D4$  con demandas idénticas e iguales a 2000  $tm$ .

Se desea obtener un plan de transporte óptimo, teniendo en cuenta que los costes por tonelada transportada son los que figuran en la tabla adjunta.

	<i>D1</i>	<i>D2</i>	<i>D3</i>	<i>D4</i>
<i>A1</i>	18	26	30	34
<i>A2</i>	24	28	20	16
<i>A3</i>	12	40	36	28

#### A.4. Ejercicio 4

Las demandas mensuales de cuatro artículos (*A1*, *A2*, *A3* y *A4*) son 15, 9, 8 y 10 (en miles de unidades), respectivamente. Para elaborar dichos productos se dispone de 3 secciones (81, 82 y 83) con unas capacidades mensuales de proceso (en miles de unidades) iguales a 12, 14 y 16, independientes del artículo; y con unos costes de fabricación unitarios, que sí dependen del artículo, tales como los que figuran en la tabla adjunta:

	<i>A1</i>	<i>A2</i>	<i>A3</i>	<i>A4</i>
<i>S1</i>	8	13	9	8
<i>S2</i>	9	11	12	10
<i>S3</i>	7	8	10	9

¿Cómo repartiría el trabajo entre las secciones con el objeto de minimizar los costes de fabricación? Indique el coste de fabricación asociado a la solución propuesta.

#### A.5. Ejercicio 5

El entrenador de un equipo universitario de natación de la prueba 4x100 estilos debe establecer una asignación de los estilos natatorios entre los cuatro deportistas seleccionados: *Amat*, *Baena*, *Carvalho* y *Durruti*. Los tiempos medios (en segundos) conseguidos por los nadadores individualmente en cada estilo (espalda, braza, mariposa y crol) figuran en la tabla siguiente:

	<i>Espalda</i>	<i>Braza</i>	<i>Mariposa</i>	<i>Crol</i>
<i>Amat</i>	61	59	63	59
<i>Baena</i>	63	63	58	61
<i>Carvalho</i>	61	59	62	58
<i>Durruti</i>	60	63	62	57

¿Qué asignación le parece más adecuada, y cuál es el tiempo medio esperado para realizar la prueba?

## A.6. Ejercicio 6

Una empresa en fase de expansión se enfrenta a la decisión de localizar tres nuevas factorías ( $NF1$ ,  $NF2$ ,  $NF3$ ) cuya misión será la de producir semielaborados con destino a las cinco factorías ( $F1$ ,  $F2$ ,  $F3$ ,  $F4$  y  $F5$ ) de las que hasta el momento es propietaria la empresa.

Se espera que, en un régimen normal de actividad, la  $NF1$  suministre, exclusivamente, semielaborados con destino a la  $F1$  y  $F2$  y en unas cantidades anuales de 1000 y 1500  $tm$  respectivamente. La  $NF2$ , por su parte suministrará solamente a las  $F2$ ,  $F3$  y  $F4$  en unas cantidades de 2000, 1800 y 2500  $tm/año$ , respectivamente. Por su parte la  $NF3$  producirá semielaborados con destino a  $F4$  y  $F5$  en cantidades anuales de 1000 y 3000  $tm$  respectivamente.

El Comité de Selección de Alternativas para Emplazamientos ha establecido, finalmente, cuatro emplazamientos ( $E1$ ,  $E2$ ,  $E3$  y  $E4$ ) como adecuados para situar en cada uno de ellos cualquiera de las nuevas fábricas.

Dado que el criterio para decidir el emplazamiento de las nuevas factorías es el conseguir unos costes anuales mínimos en concepto de transporte de suministros desde las nuevas factorías a las ya existentes actualmente, se han solicitado y obtenido las tarifas de transporte (por tonelada y trayecto) que se practicarían tomando como posibles puntos de origen los cuatro posibles emplazamientos, y como puntos de destino las cinco factorías actualmente existentes; dichas tarifas son las de la tabla:

	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$
$F1$	9	6	4	3
$F2$	2	8	4	10
$F3$	15	10	5	20
$F4$	10	8	6	4
$F5$	5	3	7	9

¿Qué decisión debería tomar la empresa? y ¿Cuál sería el coste anual de transporte?

En el supuesto del apartado anterior, el departamento financiero de la Empresa no considera correcto tomar la decisión en base a, únicamente, los costes de transporte, y opina que deberían considerarse, además, los costes de inversión e instalación.

Dichos costes que se presentarían de forma puntual en el momento de la instalación (simultánea) y puesta en marcha de las nuevas fábricas son:

	$E1$	$E2$	$E3$	$E4$
$NF1$	50000	30000	60000	30000
$NF2$	150000	150000	300000	200000
$NF3$	70000	100000	70000	60000

¿Modificará esta consideración la localización de las nuevas fábricas si consideramos



los datos válidos para un período de tiempo ilimitado y una tasa anual de actualización del dinero del 4 %?

Para coordinar las actividades de las tres nuevas fábricas, la empresa va a instalar un ordenador principal conectado a otros tres situados éstos cada uno en cada una de las nuevas fábricas.

El ordenador principal puede situarse en cualquiera de los cuatro emplazamientos (tanto si en él se sitúa una fábrica como si no). El coste anual de funcionamiento de este sistema es directamente proporcional al producto de la distancia que separa el ordenador principal del ordenador de fábrica multiplicada por el volumen de semielaborados. producido por la fábrica.

Las distancias entre emplazamientos son:

	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E3</i>	<i>E4</i>
<i>E1</i>	-	6	8	5
<i>E2</i>	-	-	7	4
<i>E3</i>	-	-	-	3
<i>E4</i>	-	-	-	-

¿Dónde situaríamos el ordenador principal si situamos las fábricas según el criterio de los costes de transporte?