

# 42º Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa Córdoba 2013

16º Concurso de Trabajos Estudiantiles

Categoría Trabajo de Cátedra

**Título: "Planificación de la producción a través de un modelo de programación lineal en una industria quesera, como paso previo para mejorar los procesos logísticos"**

**Alumnos:**

- HOYOS, Elisa Andrea.
- RUIZ, Rodrigo Hernán.

**Cátedra:** Investigación Operativa.

**Docentes:**

- Mgtr. Ing. Osvaldo Facundo Martínez
- Ing. Sergio Hernán Rosa
- Ing. Sergio Castro

**Universidad:**

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Córdoba - Departamento de Ingeniería Industrial - Grupo de Investigación en Modelos y Sistemas de Apoyo a la Decisión para la Eficiencia de las Organizaciones (GIMSE)

Córdoba, 15 de mayo de 2013

## Resumen (abstract)

El informe que se presenta a continuación, realizado en el año 2012 dentro de la asignatura de Investigación Operativa, se plantea en esta oportunidad en el marco de la 42° Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa como trabajo de cátedra en el concurso estudiantil.

Se ponen en manifiesto todas las herramientas teóricas-prácticas adquiridas para desarrollar un trabajo de campo dentro de la Cooperativa Tambara Agropecuaria “Charles Gide” Ltda. quien desde hace más de 65 años produce quesos de pasta blanda, semi dura y dura, en la localidad de Arroyo Algodón (Cba).

A través de un modelo de programación lineal se busca planificar la producción de la industria de manera semanal, previo relevamiento y búsqueda de datos pertinentes para confeccionar y validar el sistema.

Para formular y resolver el modelo se emplea el software LINGO realizando posteriormente un completo análisis de la solución obtenida, donde se evalúa el comportamiento del mismo y se compara luego con la situación real de la empresa.

Es importante destacar que cotidianamente la organización desempeña esta actividad de una manera informal, basándose únicamente en la gran experiencia en el rubro y su vínculo directo con el mercado.

Finalmente, se considera que será de gran utilidad y funcionalidad este estudio, para en etapas posteriores continuar analizando los procesos logísticos de la pyme en cuestión.

## 1. Título del trabajo y presentación del caso

El título del trabajo es:

---

**“Planificación de la producción a través de un modelo de programación lineal en una industria quesera, como paso previo para mejorar los procesos logísticos”**

---

Un análisis integral de los procesos logísticos dentro de una industria conlleva indudablemente a un estudio de la organización por completo, buscando comprender la función dentro de la cadena de suministro y el funcionamiento de la propia logística interna.

Distintos autores clasifican a las actividades logísticas internas en tres grupos: actividades estratégicas, actividades claves y actividades de apoyo, con gran interacción y dinamismo entre cada componente y el sistema en sí.

A su vez, dentro de las actividades estratégicas se puede destacar la planificación y programación de la producción, la cual es fuente de información para el almacenamiento de materias primas, productos en proceso y terminados; el manejo de materiales en general; y finalmente para la distribución en el mercado.

Es así como por medio de un modelo de programación lineal se busca desarrollar un estilo de **planificación y programación de la producción dinámica** dentro de una empresa real, evaluando luego sus resultados.

## 2. Presentación de la empresa



Cooperativa Tampera  
Agropecuaria “Charles Gide”  
Limitada, inicia sus actividades el  
08 de Febrero de 1947, en la

localidad de Arroyo Algodón (Córdoba), distante a veinticinco kilómetros de la ciudad de Villa María, por la Ruta Nacional N° 158, que conecta a ésta con la ciudad de San Francisco, producto del fuerte impulso que por ese entonces tomara el sistema Cooperativo, y en especial para todas las actividades vinculadas con el sector primario.

Localizada en un punto estratégico dentro de una de las cuencas lecheras más importantes de nuestro país, procesa por día aproximadamente treinta mil (30.000) litros de leche, provenientes de tambos de la zona, que se transforman en quesos en sus variedades de pasta blanda, semi dura y dura, y que posteriormente se comercializan en la misma planta industrial al por mayor con la marca “CHARLES GIDE”, teniendo como destino de la misma, entre otros, los mercados de Córdoba,

Buenos Aires, Rosario, Mendoza, San Juan y Tucumán, de los cuales se reciben importantes reconocimientos por la calidad de la mercadería.

En los últimos años, la Cooperativa ha evidenciado importantes cambios en cuanto a su equipamiento, adecuando la infraestructura de planta a los condicionamientos de un mercado altamente exigente y competitivo. Para ello se han realizado fuertes inversiones en tinas mecánicas, equipo de pasteurización, y remodelaciones en cámaras, saladeros y recibo de la materia prima.

## 2.1. Observaciones

Corresponde añadir mayor información con el objetivo de ubicar al lector del tipo de industria que se trata:

- La Cooperativa cuenta hoy con un grupo de doce productores que entregan por día aproximadamente 26000 litros de leche.-
- La capacidad de planta instalada, en función de la mano de obra, equipamiento y de tecnología disponible es de 38000 litros diarios. Es decir, hoy la planta industrial se encuentra trabajando en un 70% de su capacidad.-
- El 90% de la leche que se recibe es fría, lo cual evidencia grandes ventajas para la industrialización del producto.-
- En la planta de elaboración trabajan doce (12) empleados, más tres (3) administrativos, todos ellos con varios años de antigüedad en la empresa. La jornada de trabajo es de 8 horas diarias de lunes a viernes y de 4 horas los días sábado.-
- Las órdenes de trabajo se planifican semanalmente, según el régimen de ventas y el propio ritmo productivo, sin utilizar software específicos para la tarea.
- El servicio de acarreo de leche se encuentra privatizado, mediante la contratación de dos (2) camiones tanques. Cabe destacar que los productores se encuentran aproximadamente entre 10 y 15 kilómetros de la planta industrial.-
- La comercialización de los productos se realiza directamente en la planta industrial, concentrándose un 98% de las ventas en distribuidores mayoristas.-
- El precio de la leche no es estable sino que es fijado por el Consejo de Administración todos los meses en función de distintos parámetros. Asimismo, no todos los productores cobran el mismo precio.
- La Cooperativa tiene otros ingresos adiciones a la producción de quesos como son el alquiler de terrenos y la comercialización de la crema de leche que es procesada por otra empresa de la zona.

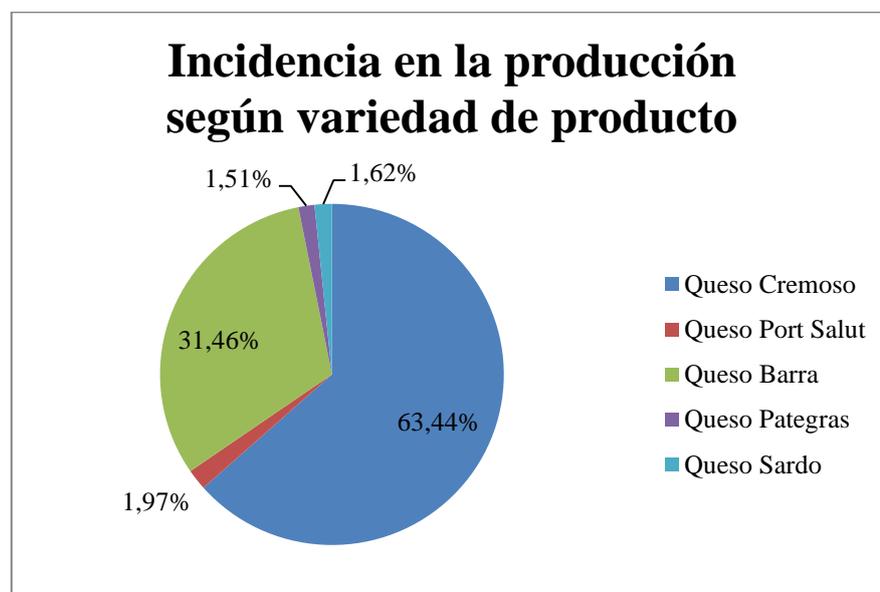
## 4. Datos y gráficos

En la industria quesera se presentan ciclos productivos a la largo del año, a causa de la estrecha relación con la producción primaria de leche en los campos. Los animales son muy susceptibles a factores como situaciones climáticas, alimentación, cuidados, entre otros. En general, el periodo más favorable en cuanto a precio para mercado quesero va desde el mes de marzo a noviembre, siendo estos los meses de menor producción lechera.

A continuación se presentan tablas y gráficos con los **valores promedios** de la información otorgada por la empresa de los meses de marzo, abril, mayo, junio y julio del año 2012.

### 4.1. Producción

Producto	Leche Procesada (Litros)	Cantidad Producida (kg)	Rendimiento Productivo	Litros de leche por kilogramo producido
Queso Cremoso	359.680,00	51.742,60	14,39%	6,95
Queso Port Salut	12.800,00	1.609,00	12,57%	7,96
Queso Barra	261.080,00	25.661,20	9,83%	10,18
Queso Pategras	12.780,00	1.231,40	9,64%	10,40
Queso Sardo	14.820,00	1.321,60	8,92%	11,34
<b>Total</b>	<b>661.160,00</b>	<b>81.565,80</b>		



## 4.2. Beneficios

Los beneficios se determinaron a partir de la estructura de costos de los productos, de los ingresos por ventas y de otros ingresos que posee la Cooperativa.

Otros Ingresos	
<b>Alquileres</b>	23.000,00
<b>Venta de Crema</b>	26.183,01
<b>TOTAL</b>	49.183,01

Concepto	Cremoso	Port Salut	Barra	Pategras	Sardo
<b>Costo Materia Prima</b>	\$11,18	\$12,80	\$16,37	\$16,72	\$18,23
<b>Costos Productivos</b>	\$3,29	\$3,77	\$4,82	\$4,91	\$5,31
<b>Precio de Venta</b>	\$14,88	\$16,34	\$20,98	\$22,58	\$23,00
<b>Otros Ingresos</b>	\$0,52	\$0,59	\$0,76	\$0,77	\$0,83
<b>Beneficio</b>	<b>\$0,93</b>	<b>\$0,36</b>	<b>\$0,55</b>	<b>\$1,72</b>	<b>\$0,29</b>

- Los precios de venta tiene el 21% de IVA incluido

## 5. Modelo de programación lineal

### 5.1. Descripción general del modelo

El objetivo para el que se ha desarrollado el modelo es obtener el máximo beneficio por la venta de los quesos, planificando la producción para un período de cuatro semanas y de forma de lograr dicho objetivo.

Se trata de un modelo de programación lineal, donde en principio la única limitación que afecta a las variables es que no pueden asumir valores negativos.

Las restricciones que limitan el caso completo son las siguientes:

- Capacidad de producción mínima: Se trata de la capacidad de procesamiento de la planta, medida en litros de leche por semana. Se ha establecido un valor de capacidad mínima que se debe alcanzar por la compra de leche a los tamberos.
- Capacidad de producción máxima: Corresponde a la máxima capacidad de procesamiento dada por la capacidad instalada de la planta. Se la afecta de un coeficiente de uso de la instalación para representar la situación real que se da cuando no se puede conseguir la cantidad de leche suficiente para lograr esa capacidad máxima.

- **Producción mínima:** Para todos los productos se ha establecido una producción mínima que se desea alcanzar. Particularmente para los tipos de queso Cremoso y Barra, se fija la producción como un porcentaje mínimo con respecto a la producción total de la semana.
- **Producción máxima:** De forma equivalente a la restricción anterior, pero sólo para los tipos de queso Port-Salut, Pategras y Sardo se han establecido cantidades de producción máximas. Dejando, de esta forma, libre esa cantidad para los dos tipos restantes que quesos que se producen.
- **Capacidad de la mano de obra directa:** La producción de cada tipo de queso insume horas de producción particulares que están en función de la cantidad de personal ocupado en la planta. Es un recurso limitante que se ha definido por semana.
- **Condición de no negatividad de las variables del modelo.**

## 5.2. Modelo

### Variables:

$x_{i,j}$  = cantidad de kilogramos a producir del queso “i” en la semana “j”.

Donde:

i	Queso	j	Semana
1	Cremoso	1	Primera semana
2	Barra	2	Segunda semana
3	Port-Salut	3	Tercera semana
4	Pategras	4	Cuarta semana
5	Sardo		

### Función Objetivo:

$$\begin{aligned}
 MAX(Z) = & 0.93 \times \sum_{j=1}^4 x_{1,j} + 0.55 \times \sum_{j=1}^4 x_{2,j} + 0.36 \times \sum_{j=1}^4 x_{3,j} + 1.72 \times \sum_{j=1}^4 x_{4,j} \\
 & + 0.29 \times \sum_{j=1}^4 x_{5,j}
 \end{aligned}$$

### Restricciones:

- Capacidad de producción mínima (para cada semana):

De los productores se debe recibir aproximadamente 26.000 litros diarios, lo que representa 182.000 litros por semana.

$$\begin{aligned}
 6.95 \times x_{1,j} + 10.18 \times x_{2,j} + 7.96 \times x_{3,j} + 10.40 \times x_{4,j} + 11.34 \times x_{5,j} \\
 \geq 7 \times 26000 \text{ [litros de leche]} \quad \forall j = 1, 2, 3, 4
 \end{aligned}$$

- Capacidad de producción máxima (para cada semana):

La capacidad instalada de planta alcanza los 38.000 litros diarios, es decir 266.000 por semana. Además se la afecta por el coeficiente de uso de la instalación “ $USO_j$ ”.

$$6.95 \times x_{1,j} + 10.18 \times x_{2,j} + 7.96 \times x_{3,j} + 10.40 \times x_{4,j} + 11.34 \times x_{5,j} \leq 7 \times 38000 \times USO_j \text{ [litros de leche]} \quad \forall j = 1, 2, 3, 4$$

- Producción mínima (para cada semana):

Por los años de trayectoria en el rubro se conoce que la producción de queso cremoso no puede ser menor al 55% del total y la de queso barra, no menor al 30% del total. Del resto del tipo de quesos se producen valores enteros estimados también en base a experiencia.

Producción	Restricción
Cremoso	$x_{1,j} \geq 0.55 \times \sum_{i=1}^5 x_{i,j}$ [kg de queso]
Barra	$x_{2,j} \geq 0.30 \times \sum_{i=1}^5 x_{i,j}$ [kg de queso]
Port-Salut	$x_{3,j} \geq 280$ [kg de queso]
Pategras	$x_{4,j} \geq 210$ [kg de queso]
Sardo	$x_{5,j} \geq 230$ [kg de queso]

- Producción máxima (para cada semana):

Por las mismas razones mencionadas en la restricción anterior, los valores establecidos para la cantidad máxima a producir de cada uno de los tipos de quesos son:

Producción	Restricción
Producción Cremoso	(no limitada)
Producción Barra	(no limitada)
Producción Port-Salut	$x_{3,j} \leq 520$ [kg de queso]
Producción Pategras	$x_{4,j} \leq 400$ [kg de queso]
Producción Sardo	$x_{5,j} \leq 430$ [kg de queso]

- Capacidad de la mano de obra directa (para cada semana):

La empresa cuenta con un plantel de 12 empleados en el sector productivo que trabajan 8(ocho) horas diarias de lunes a viernes, y 4 (cuatro) horas los días sábados. El ritmo de trabajo no es constante, pero de manera general se puede plantear el tiempo de mano de obra disponible de la siguiente manera:

$$\left[ \left( 12 \text{ personas} \times 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \right) \times 5 \frac{\text{días}}{\text{semana}} \right] + \left[ 12 \text{ personas} \times 4 \frac{\text{horas}}{\text{semana}} \right]$$

$$= 528 \frac{\text{horas}}{\text{semana}}$$

Lunes a Viernes

Sábados

Por lo que la restricción resulta:

$$0.0013 \times x_{1,j} + 0.0030 \times x_{2,j} + 0.0016 \times x_{3,j} + 0.0109 \times x_{4,j} + 0.0093 \times x_{5,j} \leq 580 \text{ [horas]} \quad \forall j = 1, 2, 3, 4$$

- Variables no negativas:

$$x_{i,j} \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, 3, 4, 5; \forall j = 1, 2, 3, 4$$

## 6. Presentación de resultados

El modelo se desarrolló en el software LINGO. Luego de correr el modelo, la planificación para la producción de las próximas cuatro semanas, logrando abastecerse de la cantidad de materia prima necesaria para aprovechar la capacidad instalada total, debería ser la siguiente:

Plan de Producción para 100% de aprovechamiento de la capacidad instalada				
Queso \ Semana	1	2	3	4
<b>Creroso</b>	24046,34	24046,34	24046,34	24046,34
<b>Barra</b>	10695,57	10695,57	10695,57	10695,57
<b>Port-Salut</b>	280,00	280,00	280,00	280,00
<b>Pategras</b>	400,00	400,00	400,00	400,00
<b>Sardo</b>	230,00	230,00	230,00	230,00
<b>Total</b>	35651,91	35651,91	35651,91	35651,91

Con esto, el beneficio que se esperaría obtener es: **\$116.404,60**

Sin embargo, actualmente la cooperativa no tiene a su alcance la cantidad de materia prima que exigiría utilizar la capacidad de producción máxima, sino que semanalmente puede acceder a lo sumo a 225.000 litros de leche. Por lo tanto se incluyen también el plan de producción resultante para ese caso.

Plan de Producción para 79% de aprovechamiento de la capacidad instalada				
Semana	1	2	3	4
<b>Queso</b>				
<b>Cre moso</b>	18742,64	18742,64	18742,64	18742,64
<b>Barra</b>	8422,56	8422,56	8422,56	8422,56
<b>Port-Salut</b>	280,00	280,00	280,00	280,00
<b>Pategras</b>	400,00	400,00	400,00	400,00
<b>Sardo</b>	230,00	230,00	230,00	230,00
<b>Total</b>	28075,20	28075,20	28075,20	28075,20

Con este plan, el beneficio esperado es de **\$91.674,25**

## 7. Análisis de resultados y conclusiones

Como se puede apreciar, el modelo arroja valores idénticos para la producción de cada una de las semanas. Se esperaba que esto fuese así ya que para darle el verdadero carácter dinámico que se desea, se deben incluir variables de stock y parámetros que cuantifiquen la demanda para cada una de las semanas. La situación de la cooperativa es bastante particular ya que siempre le es posible colocar el total de su producción en el mercado, no siendo tan sensible a la demanda inmediata.

Sin embargo, el modelo permite especificar los litros de leche que se espera conseguir para cada una de las semanas, ya que el coeficiente de uso se calcula por semana como una relación entre la cantidad de materia prima conseguida con respecto a lo máximo posible. Esta es una característica importante del modelo dado que permite introducir la fluctuación propia del abastecimiento de la materia prima.

Por otro lado, se advierte que el segundo plan refleja mucho más la realidad de la producción en la Cooperativa, ya que es una característica de su entorno el no poder abastecerse totalmente, producto de que el sector lácteo está bastante desbastado por la gran inclinación hacia la agricultura o a la producción de granos en nuestro país.

Claramente hay una considerable diferencia entre el beneficio que se puede obtener en una y otra situación. Dicha diferencia asciende a \$24.730,35.

De hecho, es la disponibilidad de materia prima la que limita la producción porque sólo se utiliza el 13% de las horas de mano de obra disponibles y hay un 21% de capacidad ociosa en las instalaciones.

Se observa que hay una tendencia a producir la máxima cantidad posible de los quesos tipo cremoso, barra y pategras. Esto se explica porque tanto el queso cremoso como el barra son los productos más solicitados por el mercado, y tienen coeficientes de beneficio relativamente altos; además los tiempos de producción son de los más bajos. Con respecto al pategras, si bien insume la mayor cantidad de materia prima y tiempo de producción, es el que aporta el mayor beneficio por unidad.

Para los otros dos tipos de queso, port-salut y sardo, se produce siempre la cantidad mínima que la Cooperativa desea producir por lo menos. Esto se debe a que el beneficio que aportan por unidad no es tan considerable como los tipos antes mencionados.

Al realizar el estudio de sensibilidad de la solución del modelo, se deducen los límites, máximos y mínimos, de los coeficientes de la función objetivo. Estos se muestran en la siguiente tabla:

Variable	Coefficiente	Límite Superior	Límite inferior
$x_{1,j}$	0,93	1,2629	0,3755
$x_{2,j}$	0,55	1,3622	-2,17
$x_{3,j}$	0,36	1,034	Infinito
$x_{4,j}$	1,72	Infinito	1,2855
$x_{5,j}$	0,29	1,3823	Infinito

Como conclusión final, se puede decir que el modelo representa la realidad y es una buena herramienta de apoyo a las decisiones, particularmente con respecto a la planificación de la producción, que como se mencionó es uno de los procesos estratégicos que hacen a la función logística en una organización. Sin embargo, el modelo es susceptible de ser mejorado y ampliado para incorporar más variables y ajustar la precisión de los resultados.