

# NUMERO, TAMAÑO Y LOCALIZACION OPTIMOS DE CENTRALES LECHERAS

por  
EDUARDO DIEZ PATIER (\*)

## SUMARIO

1. INTRODUCCION.—2. OBJETIVOS.—3. METODOLOGIA.—3.1. EL ESQUEMA CONCEPTUAL: ORGANIZACIÓN EFICIENTE EN ÁREAS DE MERCADO. 3.2. EL MODELO TEÓRICO. 3.3. EL PROCEDIMIENTO ANALÍTICO.—4. RESULTADOS. 4.1. EL MODELO BÁSICO. 4.2. COMPARACIÓN CON EL SISTEMA ACTUAL. 4.3. PROYECCIONES PARA 1978.—5. CONCLUSIONES.—6. RECOMENDACIONES.

## 1. INTRODUCCION

LA regulación básica del subsector lechero en España es el «Reglamento de Centrales Lecheras y Otras Industrias Lácteas» [2], cuya parte IV establece el sistema de higienización obligatoria de la leche en todos los núcleos de población, asignando a las centrales lecheras la función de proporcionar leche higienizada para el consumo local (1).

Aunque el número de centrales lecheras y su capacidad de tratamiento han aumentado considerablemente durante los últimos años (2), el sistema de higienización obligatoria de la leche todavía no ha sido extendido a la totalidad del país, estimándose que en la actualidad alcanza a menos de las dos terceras partes de la leche consumida en forma líquida. El presente trabajo intentó contrastar, mediante la determinación del número, tamaño y localización óptimos (3) de centrales lecheras y su comparación con los existentes la hipótesis de que

---

(\*) Ingeniero Agrónomo. Ph. D. en Economía Agraria.

(1) Esta regulación ha venido siendo modificada progresivamente durante los últimos años. Cambios significativos han sido hechos por los Decretos 544/1972 [3], 588/1974 [4] y 3520/1974 [5].

(2) En 1969, por ejemplo, había 35 centrales lecheras en funcionamiento, con una capacidad de tratamiento de 1.879.000 litros diarios [29], mientras que en 1974 el número era ya de 58 y la capacidad de 4.615.000 litros diarios, aproximadamente [9].

(3) Donde óptimo se refiere a coste mínimo.

los números y tamaños de éstas no coincidían con el esquema óptimo y que serían necesarios ajustes a fin de mejorar la eficiencia del sistema y aumentar su capacidad.

## 2. OBJETIVOS

Los objetivos específicos de este estudio consistieron en: 1) Sugerir un procedimiento para la determinación de número, tamaños y localizaciones óptimas de instalaciones de comercializaciones; 2) Ilustrar dicho procedimiento mediante la determinación del número, tamaño y localización óptimos de Centrales Lecheras para la España peninsular; 3) Determinar el flujo óptimo de leche desde las regiones de producción a las Centrales Lecheras y desde éstas a los centros de consumo, y 4) Proporcionar una base para la evaluación del sistema actual.

## 3. METODOLOGIA

Los procedimientos metodológicos se presentan a continuación en tres partes: 1) El esquema conceptual; 2) El modelo teórico, y 3) El procedimiento analítico.

### 3.1. EL ESQUEMA CONCEPTUAL: ORGANIZACIÓN EFICIENTE DE ÁREAS DE MERCADO

La investigación económica sobre la organización eficiente de áreas de mercado se ha concentrado generalmente en el diseño de sistemas óptimos de recogida y distribución de productos y en la determinación de números, tamaños y localizaciones óptimas de instalaciones de comercialización. Este tipo de problemas ha sido tratado de dos maneras: un grupo de modelos considera el espacio como continuo, mientras que otro grupo supone discontinuidad a fin de definir áreas de comercialización óptimas para instalaciones individuales.

El método continuo fue utilizado inicialmente en un estudio de recogida de leche [24]; un trabajo posterior [31] proporcionó un esquema más general para la localización de instalaciones de comercialización (4).

(4) Asumiendo volúmenes de comercialización uniformes en cada área productiva y una relación constante entre distancias por carretera y aire e ignorando faltas de uniformidad en terreno y comunicaciones, "los costes de recogida serán minimizados recogiendo una cantidad dada del producto considerado en un área de oferta circular" (WILLIAMSON, 31). Una vez construido el círculo de mercado, una empresa de comercialización encontrará su localización óptima en el centro de ese círculo.

La alternativa al método continuo consiste en agrupar las áreas de producción y consumo en un número finito de puntos y considerar un conjunto predeterminado de localizaciones potenciales de las instalaciones de comercialización. Uno de los primeros estudios que utilizó este método discontinuo fue el de STOLLSTEIMER, quien desarrolló su modelo para responder a unas preguntas muy similares a las que este trabajo trata de contestar: «¿Cuántas plantas deberíamos tener? ¿Dónde deberían estar situadas? ¿Qué tamaño debería tener cada una de ellas? ¿De dónde deberían obtenerse las materias primas tratadas en cada planta? ¿Qué clientes deberían ser servidos por cada planta?» [26]. La esencia del modelo se expresa gráficamente en la figura 1; el mínimo de la curva de costes totales, CT (obtenida sumando los costes totales de tratamiento, CTT, y de transporte —recogida o distribución, o la suma de ambos—, CTR/D) proporciona la solución de coste mínimo. El modelo de STOLLSTEIMER ha sido modificado posteriormente [25, 6, 30 y 17] (5).

La principal dificultad con el modelo de STOLLSTEIMER es su incapacidad para incluir simultáneamente funciones de costes de recogida y distribución. Un método que se ha utilizado cuando es necesario incorporar ambas funciones es la aplicación de un modelo de Transbordo. KING y LOGAN aplicaron este método a la comercialización de productos agrarios en un estudio de localización de un matadero. Su modelo de transbordo es un tipo especial de modelo de transporte que «se modifica mediante la especificación de cada área de producción y consumo como un punto posible de embarque o de transbordo» [15]. Las funciones de costes de recogida, tratamiento y distribución se calculan separadamente y se suman de una forma casi idéntica a la utilización por STOLLSTEIMER, como puede verse en la figura 2.

El modelo de transbordo ha sido también extendido posteriormente. HURT y TRAMEL [14] ampliaron el modelo para tratar más de una instalación en cada nivel y más de un producto final, y LEATH y MARTIN [18] incluyeron restricciones de desigualdad. TOFT, CASSIDY y MCCARTHY, por su parte, desarrollaron un procedimiento para contrastar la sensibilidad de las soluciones del modelo a cambios en los

(5) POLOPOLUS [25] amplió el modelo para tratar productos múltiples; CHERN y POLOPOLUS [7] sustituyeron la función de costes de tratamientos continua por una discontinua, distinguieron explícitamente entre número y localización óptimos e introdujeron el concepto de tamaño máximo y la medida del exceso de capacidad; WARRACK y FLETCHER [30] incorporaron una técnica de suboptimización para resolver problemas complicados utilizando el modelo de STOLLSTEIMER y LADD y HALVORSON [17], finalmente, expusieron un procedimiento para determinar la sensibilidad de las soluciones del modelo y los efectos de cambios en los parámetros.

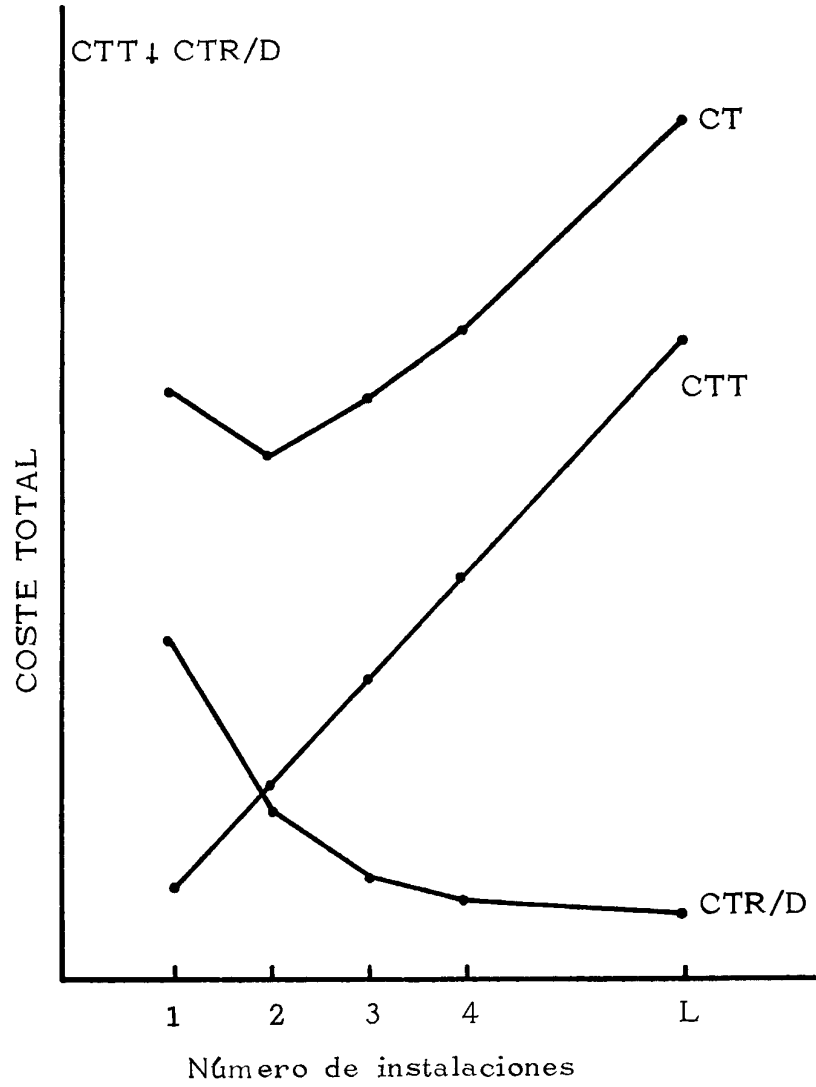


Figura 1. Modelo de STOLLSTEIMER.

elementos del coste, especialmente en los costes de transporte [27].

Entre los ejemplos de aplicaciones del modelo de transbordo en localización de plantas de tratamiento de leche se encuentran un estudio en Washington [1] y otro en Colorado [28].

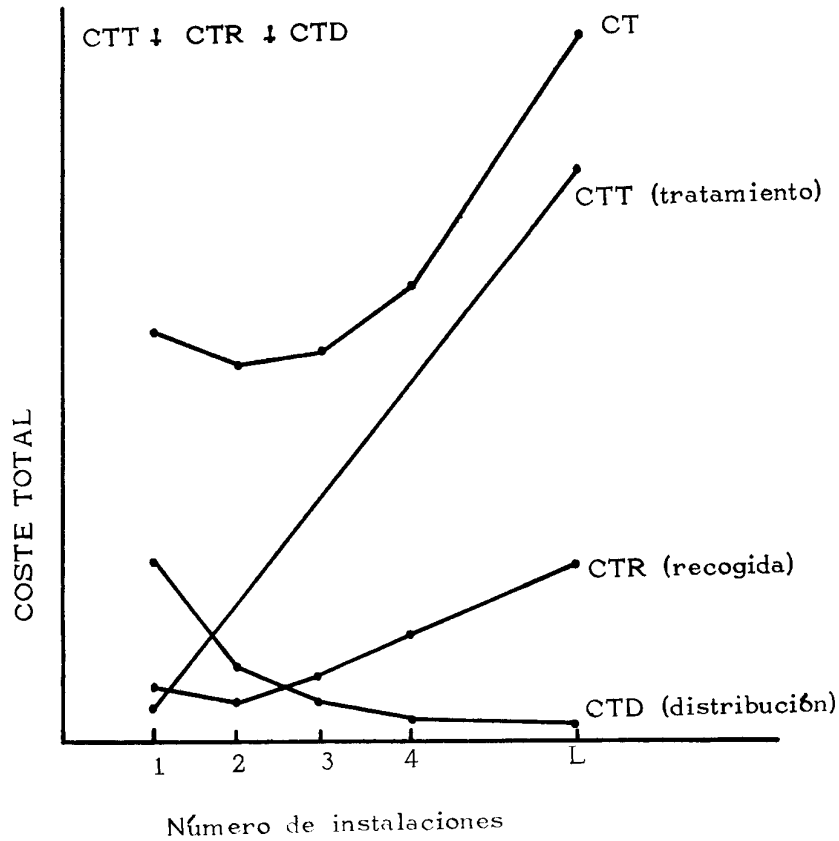


Figura 2. Modelo de Minimización de Coste Total.

También se han utilizado otras variantes de procedimiento de programación lineal y no lineal en la resolución de este tipo de problemas. En el caso de plantas de tratamiento de leche se ha utilizado, por ejemplo, la programación separable, en un estudio de localización óptima en Estados Unidos [16].

### 3.2. EL MODELO TEÓRICO

La metodología aplicada fue básicamente la diseñada por KING y LOGAN [15], aunque se hicieron algunas modificaciones a fin de facilitar el tratamiento de un número elevado de regiones de producción, localizaciones potenciales de Centrales Lecheras y centros de consumo.

#### 3.2.1. *El modelo económico*

La organización económica de un sistema que incluye instalaciones de comercialización requiere la consideración simultánea de los tres componentes principales del coste total: los costes de recogida y transporte desde explotaciones dispersas a las instalaciones de comercialización, los costes de tratamiento y los costes de distribución a los centros de consumo. El modelo de minimización de coste es básico en la mayoría de los análisis de localización que tratan de determinar un esquema de comercialización óptimo.

En este caso particular, el objetivo consistió en la determinación del número, tamaño y localización óptimos de centrales lecheras para la España peninsular; al analizar este problema se trató de minimizar la suma de los costes globales (recogida, transporte y distribución).

#### 3.2.2. *El modelo matemático*

Dadas  $i$  regiones de producción, cada una de las cuales produce una cantidad de leche destinada a higienización para consumo en forma líquida  $X_i$ ;  $j$  localizaciones potenciales de Centrales Lecheras, cada una de las cuales higieniza una cantidad de leche  $Y_j$  y  $k$  centros de consumo, cada uno de los cuales consume una cantidad de leche higienizada  $Z_k$ , el problema consiste en minimizar los costes totales de recogida, tratamiento y distribución. Algebraicamente, el modelo se puede plantear como

$$\text{Min} \quad \text{CT} = \sum_i \sum_j R_{ij} X_{ij} + \sum_j T_j Y_j + \sum_j \sum_k D_{jk} Z_{jk}$$

sujeto a las restricciones siguientes:

- 1)  $\sum_j X_{ij} \leq O_i$
- 2)  $\sum_i X_{ij} = \sum_k Z_{jk}$
- 3)  $\sum_j Z_{jk} \geq D_k$
- 4)  $X_{ij} \geq 0, \quad Z_{jk} \geq 0$

donde

CT = Costes totales.

$R_{ij}$  = Coste unitario de recogida desde la región de producción  $i$  a la Central Lechera  $j$ .

$X_{ij}$  = Cantidad de leche enviada de  $i$  a  $j$ .

$T_j$  = Coste unitario de tratamiento en la Central Lechera  $j$ .

$Y_j$  = Cantidad de leche tratada en la Central Lechera  $j$ .

$D_{jk}$  = Coste unitario de distribución desde la Central Lechera  $j$  al centro de consumo  $k$ .

$Z_{jk}$  = Cantidad de leche higienizada enviada de  $j$  a  $k$ .

$O_i$  = Producción de la región  $i$ .

$D_k$  = Demanda del centro de consumo  $k$ .

### 3.2.3. El modelo de ordenador

El modelo de transbordo, una clase especial de modelo de transporte de programación lineal, fue utilizado a fin de determinar el número, tamaño y localización óptimos de Centrales Lecheras mediante la minimización de los costes globales de recogida, tratamiento y distribución. La matriz del modelo de transbordo se construyó de manera que todas las actividades fuesen tomadas en cuenta. Los programas de ordenador APEX-I y APEX-II [8, 7] fueron utilizados en el análisis.

La información más significativa suministrada por los resultados del modelo incluyó: 1) El coste global de recogida, tratamiento y distribución de la solución óptima; 2) La cantidad de leche que cada región de producción debe enviar a cada central lechera; 3) La cantidad de leche que debe ser higienizada en cada central; 4) La cantidad de leche higienizada que cada central lechera debe enviar a cada centro de consumo, y 5) El coste marginal de tratamiento de leche en cada central lechera.

La solución del dual del modelo de minimización de coste descrito (6) proporcionaría, en este caso concreto, los precios relativos de la leche al ganadero y al consumidor, consistentes con la solución de coste mínimo [10].

### 3.3. EL PROCEDIMIENTO ANALÍTICO

La información necesaria para la aplicación del modelo incluyó:

1) La cantidad de leche destinada a higienización a recoger en cada

(6) Que sería un problema de determinar los precios de materia prima y producto final en cada región de producción y demanda, respectivamente, a fin de maximizar los ingresos totales.

punto de origen. 2) Una matriz de costes de recogida que especifique el coste unitario de transporte de leche desde cada punto de origen a cada central lechera. 3) Una designación de localizaciones potenciales de centrales lecheras. 4) Información sobre economías de escala que permita la determinación del coste de higienización en centrales de diferentes tamaños. 5) Una matriz de costes de distribución que especifique el coste unitario de transporte de leche higienizada desde cada central lechera a cada centro de consumo. 6) La cantidad de leche higienizada a distribuir a cada centro de consumo.

### 3.3.1. *Cantidad de leche destinada a higienización localizada en cada origen*

Se consideraron cuarenta y siete regiones de producción, coincidentes con las cuarenta y siete provincias peninsulares; los volúmenes de leche comercializada consumidos en forma líquida (higienizada o no) más la leche de igual calidad que se transformó en otros productos lácteos en el segundo, tercer y cuarto trimestre de 1973 y en el primer trimestre de 1974 [19, 20, 21 y 22] se expresaron en miles de litros al día y se consideraron, para cada provincia, concentrados en un punto (la capital).

### 3.3.2. *Costes de recogida*

La función utilizada para calcular los costes de recogida y transporte de leche desde punto de origen a central lechera fue:

$$R_{ij} = 0,60 + 0,001 K_{ij}$$

donde  $R_{ij}$  es el coste total de recogida y transporte, en pesetas/litros, desde la provincia  $i$  a la Central Lechera situada en la provincia  $j$ , y  $K_{ij}$  es la distancia en kilómetros entre las capitales de las provincias  $i$  y  $j$  (7).

### 3.3.3. *Designación de las localizaciones potenciales de centrales lecheras*

Los 31 puntos siguientes se seleccionaron como localizaciones potenciales de centrales lecheras (8). 1) La Coruña, 2) Pontevedra,

(7) El coste medio de recogida de leche desde la explotación al centro de refrigeración se estimó, por el Ministerio de Agricultura, en 0,60 pts/litro para 1974. Los costes de transporte por carretera de leche refrigerada en cisterna se estimaron en 0,001 pts/litro (incluyendo retorno).

(8) Los principales factores tomados en consideración para seleccionar las localizaciones potenciales fueron las condiciones de demanda, las economías de tamaño potenciales y el acceso ofrecido por localizaciones alternativas a las ofertas de leche, energía y agua, maquinaria y material de envasado, mano de obra, etc., así como a los mercados.



3) Oviedo, 4) Santander, 5) Bilbao, 6) San Sebastián, 7) Zaragoza, 8) Gerona, 9 y 10) Barcelona, 11) Lérida, 12) León, 13) Valladolid, 14) Salamanca, 15) Burgos, 16) Segovia, 17) Valencia, 18) Alicante, 19, 20 y 21) Madrid, 22) Albacete, 23) Ciudad Real, 24) Badajoz, 25) Granada, 26) Jaén, 27) Almería, 28) Málaga, 29) Cádiz, 30) Córdoba y 31) Sevilla.

#### 3.3.4. Costes de higienización en centrales lecheras

Los costes de tratamiento considerados proceden de un estudio previo [9, capítulo IV], en el cual se estimaron los costes total y unitario incurridos en la higienización y envasado de leche por centrales lecheras de diferente tamaño y jornada de trabajo.

Dicho estudio consideró que el 40 por 100 de la leche tratada en centrales lecheras era pasteurizada, siendo esterilizada el 60 por 100 restante. La leche pasteurizada fue considerada envasada en botellas de cristal y bolsas de plástico flexible, en una proporción del 40 por 100 de la primera y del 60 por 100 de la segunda. La leche esterilizada se consideró, en dicho estudio, envasada en botellas de cristal y envases tetraédricos de cartón, en una proporción del 50 por 100 de cada tipo.

#### 3.3.5. Costes de distribución

La función utilizada para calcular los costes de transporte y distribución de leche higienizada, basada en un 45 por 100 de leche en envases recuperables y un 55 por 100 en envases no recuperables [de acuerdo con 9], fue:

$$D_{jk} = 0,00252 K_{jk} + 0,418$$

donde  $D_{jk}$  es el coste total de transporte y distribución, en pesetas/litro, desde la central lechera  $j$  al centro de consumo  $k$  y  $K_{jk}$  es la distancia, en kilómetros, entre las capitales de provincia  $j$  y  $k$  (9).

#### 3.3.6. Demanda de leche en cada centro de consumo

La cantidad total de leche consumida en forma líquida en 1973-74, dividida por la población en el mismo período, proporciona un consumo per cápita de 76,6 litros al año (o 0,210 litros diarios). Las cifras de consumo provincial se calcularon a partir de esta cifra y datos de

(9) Los costes de transporte de leche envasada fueron estimados por el Ministerio de Agricultura para 1974, en 0,0034 pts/litro y kilómetro para leche envasada recuperables y 0,0018 pts/litro y kilómetro para leche en envases no recuperables. Los costes medios de distribución fueron de 0,55 pts/litro para leche en envases recuperables y de 0,31 pts/litro para leche en envases no recuperables.

población asumiendo que el consumo per cápita es homogéneo en todo el país.

### 3.3.7. *Determinación del número, tamaño y localización óptimos de centrales lecheras*

El procedimiento utilizado fue el siguiente:

- 1) Asignar la cantidad total de leche a higienizar a las centrales lecheras potenciales, determinando sus capacidades entre los volúmenes máximo y mínimo que pueden tratar.
- 2) Calcular el coste unitario correspondiente a cada volumen de tratamiento.
- 3) Empezar el primer análisis de ordenador, obteniendo el primer resultado que incluye el coste mínimo global y el flujo y volumen de leche a tratar en cada central lechera, así como aquellos de central lechera a centro de consumo.
- 4) Proceder a ajustes, de acuerdo con los costes marginales de tratamiento en cada central lechera obtenidos en el primer análisis (10).
- 5) Calcular de nuevo los costes de tratamiento de acuerdo con los nuevos volúmenes a tratar por cada central lechera y emprender el segundo análisis de ordenador, y
- 6) Continuar este procedimiento iterativo hasta que el coste total (recogida, tratamiento y distribución) cese de disminuir.

Este procedimiento iterativo no garantiza absolutamente una solución óptima global, sino un mínimo local, que se consideró satisfactorio para los propósitos de este estudio.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. EL MODELO BÁSICO

Para resolver el modelo básico (modelo I) y dado el tamaño relativamente grande de la matriz (215 filas y 2.945 columnas), se utilizó el programa de ordenador APEX-I [9]. La solución óptima para el año lechero 1973-74 se obtuvo para un número óptimo de veintidós centrales lecheras, con un coste mínimo global de recogida, tratamiento y distribución de 4,07 pesetas por litro de leche higienizada. El análisis

---

(10) Los valores negativos para una central lechera determinada se interpretaron en el sentido de que los costes totales podían ser reducidos aumentando la capacidad de esa central lechera, mientras que valores positivos eran indicativos de que los costes totales podían ser reducidos disminuyéndola. Centrales lecheras relativamente pequeñas con costos marginales positivos relativamente altos fueron eliminados del análisis.

mostró que los costes totales decrecían a medida que disminuía el número de centrales lecheras (11).

La mayor parte del coste total correspondió a los costes de tratamiento, que representaron el 69,64 por 100 del coste total.

El tamaño y localización óptimos, obtenidos simultáneamente con el número óptimo, aparecen en el cuadro 1. La central lechera de mayor tamaño tendría una capacidad de 610.000 litros al día, y la más pequeña, de 105.000. El volumen de tratamiento medio sería de 316.316 litros por día y central lechera.

El mapa 1 muestra el flujo óptimo de leche desde las regiones de producción a las veintidós centrales lecheras de la solución de coste mínimo, y el mapa 2 muestra el flujo óptimo de leche higienizada desde las centrales lecheras a los centros de consumo.

#### 4.2. COMPARACIÓN CON EL SISTEMA ACTUAL

En 1974 había 57 centrales lecheras en funcionamiento en la España peninsular [23]; para comparar el esquema de coste mínimo obtenido de la aplicación del modelo anterior con el óptimo que podía haberse obtenido con el número, localización y tamaño de centrales lecheras existente en el año lechero 1973-74 se prepararon otros dos modelos. El modelo II proporcionó el coste mínimo de recogida, tratamiento y distribución que podía haberse obtenido con el sistema existente en 1973-74. Las producciones provinciales de leche destinada a higienización se obtuvieron de datos publicados [19, 20, 21, 22], mientras que para calcular el consumo provincial se asignó la cantidad de leche higienizada en centrales lecheras que fue consumida en 1973-74 a las cuarenta y siete provincias peninsulares, asumiendo [1] que el consumo per cápita de leche higienizada es homogéneo en provincias con central lechera y [2] que el consumo en provincias sin central lechera alcanza sólo el 60 por 100 del de las primeras. El modelo III, por su parte, fue similar al anterior, con la diferencia de que, al igual que en el modelo I, se consideraron las producciones provinciales que podían haber sido destinadas a higienización (aunque parte de ellas fueron transformadas en otros productos lácteos), en lugar de las producciones provinciales que fueron higienizadas realmente.

El tamaño de las matrices de los modelos II y III fue de 322 filas

---

(11) Así, con el esquema de 31 centrales lecheras considerado inicialmente el coste unitario hubiese sido de 4,14 pts/litro; con veintiocho de 4,11; con veinticuatro de 4,09, y con veintitrés de 4,08.

Cuadro núm. 1

TAMAÑO Y LOCALIZACIÓN ÓPTIMAS DE CENTRALES LECHERAS  
1973-1974

| <i>Central<br/>Lechera</i> | LOCALIZACIÓN         | <i>Tamaño<br/>litros/día</i> |
|----------------------------|----------------------|------------------------------|
| 1                          | La Coruña ... ..     | 312.000                      |
| 2                          | Pontevedra ... ..    | 272.000                      |
| 3                          | Oviedo ... ..        | 219.000                      |
| 4                          | Santander ... ..     | 174.000                      |
| 5                          | Bilbao ... ..        | 463.000                      |
| 6                          | San Sebastián ... .. | 135.000                      |
| 7                          | Zaragoza ... ..      | 298.000                      |
| 8                          | Barcelona I ... ..   | 516.000                      |
| 9                          | Barcelona II ... ..  | 519.000                      |
| 10                         | León ... ..          | 367.000                      |
| 11                         | Valencia ... ..      | 464.000                      |
| 12                         | Alicante ... ..      | 387.000                      |
| 13                         | Madrid I ... ..      | 610.000                      |
| 14                         | Madrid II ... ..     | 597.000                      |
| 15                         | Ciudad Real ... ..   | 105.000                      |
| 16                         | Badajoz ... ..       | 230.000                      |
| 17                         | Granada ... ..       | 240.000                      |
| 18                         | Jaén ... ..          | 129.000                      |
| 19                         | Málaga ... ..        | 177.000                      |
| 20                         | Cádiz ... ..         | 197.000                      |
| 21                         | Córdoba ... ..       | 158.000                      |
| 22                         | Sevilla ... ..       | 391.000                      |
| TOTAL ... ..               |                      | 6.960.000                    |

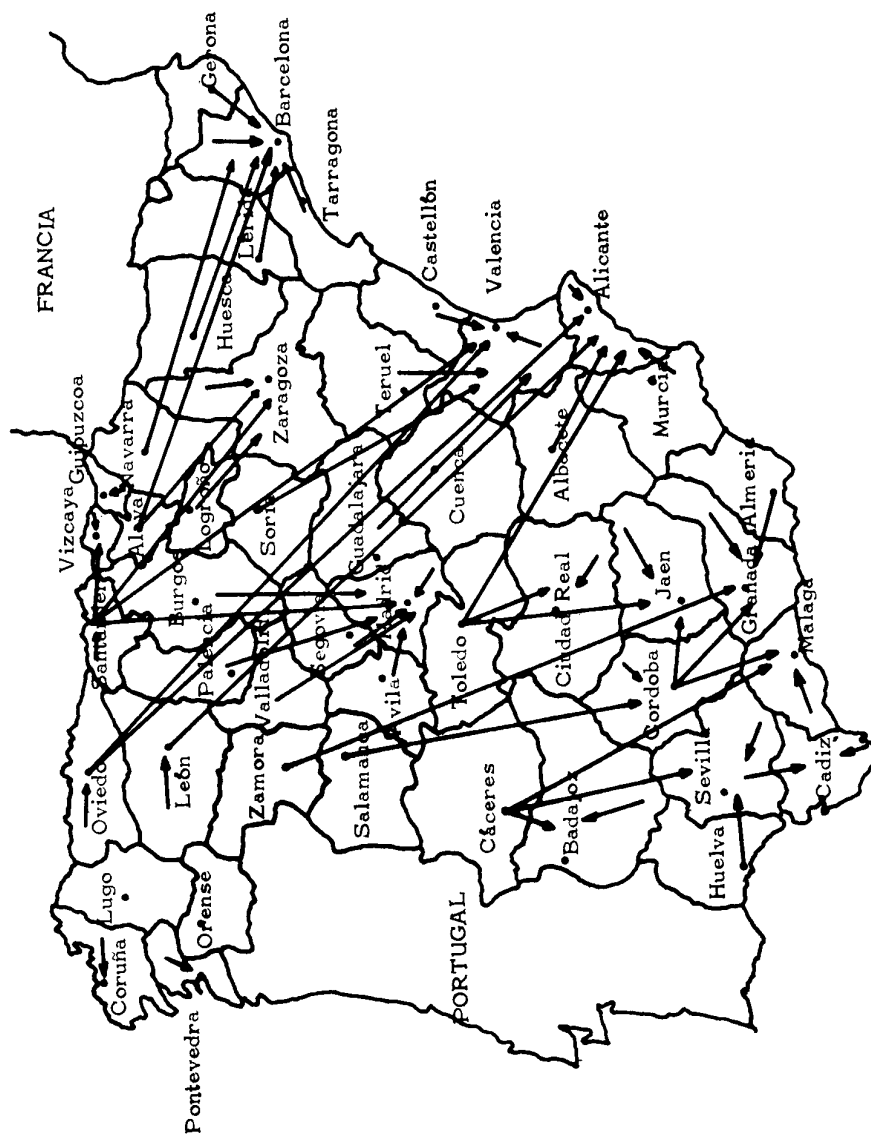
por 5.415 columnas, por lo que fue necesario utilizar el programa APEX-II [7] para su resolución (12).

La solución de coste mínimo obtenida de la aplicación del modelo II fue de 4,61 pesetas/litro, un 13,2 por 100 mayor que el coste mínimo obtenido del modelo I. La cantidad de leche considerada en el modelo II, además, fue un 33,7 por 100 menor que la considerada en el modelo I, en el que se supuso que la totalidad de la leche consumida en forma líquida era higienizada. La solución de coste mínimo del modelo III, por su parte, fue 4,56 pesetas/litro.

Estos modelos indican tres posibles ineficiencias en el esquema de recogida, transporte y distribución de leche en España en 1973-74. La primera es la existencia de un número excesivo de centrales lecheras. La segunda es el radio de distribución relativamente corto de las centrales existentes (13). Finalmente, el modelo III mostró que, aunque la ineficiencia en cuanto a uso de la leche tuvo escasa importancia,

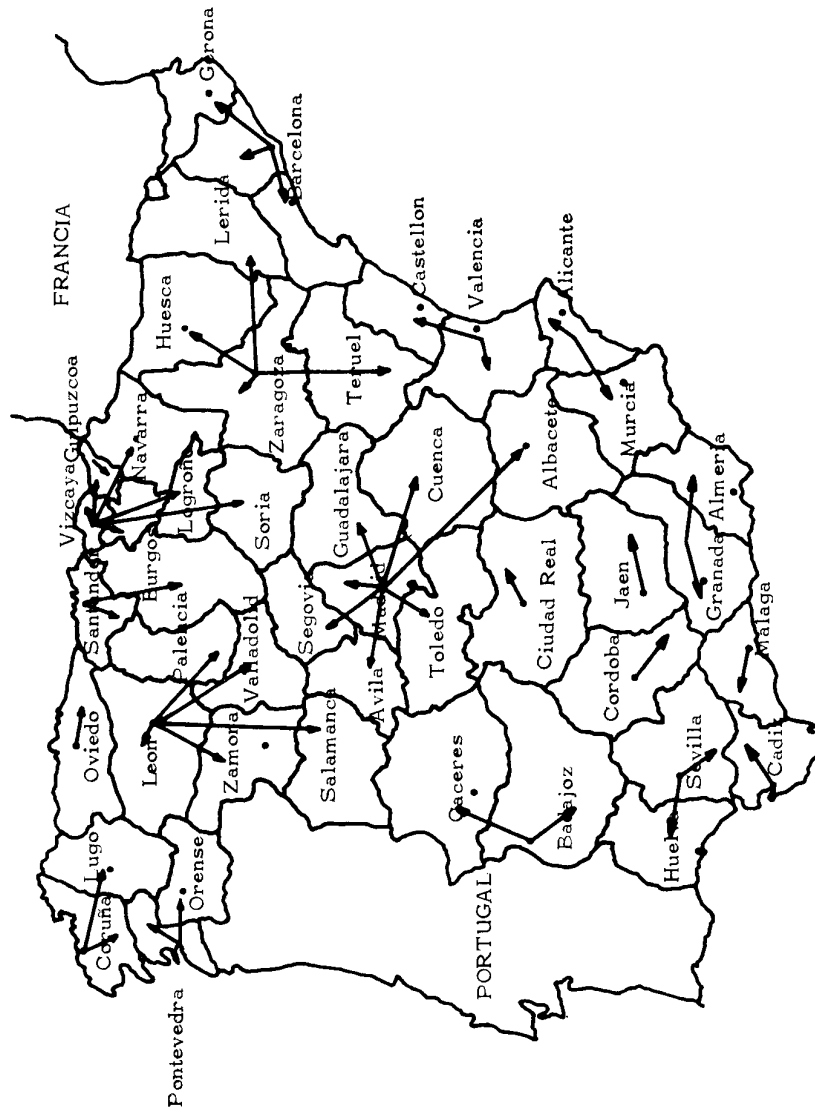
(12) Dos programas de conversión [12, 13] necesarios para la aplicación de este programa fueron preparados especialmente por S. B. HARSH.

(13) El radio real es, probablemente, aún más corto, ya que la mayor parte de la leche pasteurizada no puede ser enviada a otras áreas debido a la regulación existente.



Mapa 1: Flujo óptimo de leche de las Regiones de Producción a las Centrales Lecheras, 1973-74.

c



Mapa 2: Flujo óptimo de leche higienizada de las Centrales Lecheras a los Centros de Consumo, 1973-74.

una mejor asignación de la producción existente a los diferentes usos hubiese permitido una pequeña disminución (del 2 por 100, aproximadamente), en el coste total, a partir de una disminución en los costes totales de recogida.

#### 4.3. PROYECCIONES PARA 1978

La producción total de leche se proyectó para los próximos años utilizando la ecuación:

$$PTL_t = 0,0193 + 1,0314 PTL_{t-1}$$

$$(0,1304) (0,0397)$$

$$R^2 = 0,9684, \quad R^{-2} = 0,9670$$

(donde PTL = producción total de leche y t = año) obtenida bajo la hipótesis de que la producción nacional de leche en un año determinado es función de la producción del año anterior, mediante la obtención de estimadores de los coeficientes de regresión por mínimos cuadrados a partir de 24 observaciones (1951-1974). Para 1978 se proyectó una producción de 5,650 millones de litros, un aumento del 10,7 por 100 con respecto a 1975.

Para proyectar la producción comercializada se establecieron tendencias en porcentaje por mínimos cuadrados para los tres usos principales de la producción no comercializada (14) y se extendieron linealmente hasta 1978. En 1978 sólo un 8,71 por 100 de la producción total será destinada a cría y recría, un 15,71 por 100 será consumido directamente en la explotación y un 4,43 por 100 se utilizará para industrialización casera, por un total de 28,55 por 100 de producción no comercializada. La producción comercializada proyectada para 1978 es, por tanto, de 4,020 millones de litros.

Con el fin de proyectar la producción comercializada a nivel provincial se establecieron asimismo tendencias en porcentaje de la producción total para cada provincia por regresión mediante mínimos cuadrados, extendiendo las líneas hasta 1978.

Finalmente, para proyectar el consumo de leche en forma líquida se estableció primero una línea de tendencia por mínimos cuadrados, que se extendió hasta 1978, año para el que se proyectó un consumo per cápita de leche en forma líquida de 89,2 litros anuales, o 244,5 centímetros cúbicos diarios. Asimismo, un consumo homogéneo en todo el país se multiplicó esta cifra por las proyecciones de población en 1978 para cada provincia a fin de obtener los consumos provinciales.

(14) Cría y recría, leche consumida en la explotación e industrialización casera.

En cuanto a la designación de localizaciones potenciales de centrales lecheras se seleccionaron las veintidós obtenidas en la solución óptima del modelo I (1973-74).

Las proyecciones de números, tamaños y localizaciones óptimas de centrales lecheras para 1978 se realizaron utilizando dos modelos. En el modelo IV se consideró que la inflación afectaría por igual a todos los componentes del coste total, mientras que en el modelo V se supuso que el componente laboral de los costes de tratamiento aumentaría, hasta 1978, un 20 por 100 más que los restantes.

La solución óptima del modelo IV se obtuvo para veintiún centrales lecheras (una menos que en la solución de coste mínimo para 1973-74, con respecto a la cual desapareció la central lechera de Jaén). La central lechera de mayor tamaño trataría 755.000 litros diarios y la más pequeña 121.000. El volumen de tratamiento medio sería 402.857 litros diarios por central lechera. La solución de coste mínimo supondría un coste de 4,06 pesetas/litro, a nivel de precios de 1974, una disminución del 0,1 por 100 con respecto a 1973-74, aunque con un incremento en *output* del 18,2 por 100. De nuevo los costes de tratamiento fueron el componente principal del coste total, alcanzando un 68,26 por 100 de los costes totales.

La solución óptima del modelo V se obtuvo también para veintiún centrales lecheras (aunque esta vez la central lechera de Ciudad Real desapareció de la solución óptima en lugar de la de Jaén). La central lechera de mayor tamaño higienizaría en este caso 816.000 litros diarios.

Como indican los resultados del modelo V, un incremento del 20 por 100 en el componente laboral de los costes de higienización cambiaría la solución óptima del modelo IV; sería estable con respecto a los costes de tratamiento incluso con reducciones de hasta el 7 por 100 o aumentos de hasta un 9,5 por 100.

## 5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones de este estudio se pueden resumir así:

- 1) La central lechera eficiente de tamaño mínimo hubiese tratado 105.000 litros diarios en el año lechero 1973-1974. En 1978 el tamaño eficiente será de 121.000 litros diarios.
- 2) Un esquema óptimo de veintidós centrales lecheras hubieran proporcionado leche higienizada a todos los consumidores (un 50,7 por 100 más que la cantidad suministrada realmen-



- te) en el año lechero 1973-74, a un coste unitario un 13,2 por 100 menor que el coste mínimo que podría haber sido obtenido con el sistema existente de 57 centrales lecheras.
- 3) Una asignación producto-uso más eficiente en la cual la leche existente en cada región fuese destinada a higienización como primera prioridad permitiría una disminución del 2 por 100 en el coste unitario a través de una disminución en los costes agregados de recogida.
  - 4) La cantidad de leche necesaria para consumo en forma líquida será un 21,5 por 100 mayor que la consumida en 1973-74. Si toda la leche consumida en forma líquida en 1978 hubiera de ser higienizada en centrales lecheras, el aumento en leche higienizada necesario con respecto a la cantidad suministrada en 1973-74 sería del 83,3 por 100. Un esquema óptimo de veintiún centrales lecheras podría proporcionar la cantidad necesaria de leche higienizada en 1978 a un coste mínimo.

Tomado en conjunto, el estudio mostró la existencia de ventajas económicas relativas en un sistema de centrales lecheras a la vez más concentrado y con una mayor capacidad. Aunque sería muy difícil esperar la desaparición de cerca del 60 por 100 de las centrales lecheras existentes en 1974, es necesaria alguna alternativa para evitar el deterioro del sistema.

## 6. RECOMENDACIONES

Este trabajo se ha concentrado casi exclusivamente en el aspecto de diseño de la organización eficiente de áreas de comercialización. Aunque el valor general de la información proporcionada por este tipo de trabajos, tanto a nivel público como privado, es ampliamente reconocido, economistas de mercado como FRENCH, por ejemplo, han señalado que sus resultados suelen ser «bastante estériles en la ausencia de una autoridad de planificación central» [11]. Las bases para una planificación en el sistema de centrales lecheras existen ya en España con la regulación actual, en cuyo contexto se emprendió este estudio. Por tanto, la mayoría de las recomendaciones, que, en su mayoría, proceden directamente de las conclusiones resumidas en la sección previa, se dirigen a los organismos oficiales a los cuales corresponde el desarrollo de programas para mejorar el funcionamiento del sistema, aunque se considera que algunas de ellas serían también válidas en

diferentes situaciones y serán también relevantes a otros participantes de la industria de centrales lecheras.

- 1) La capacidad diaria mínima en jornada de ocho horas debería ser aumentada hasta, al menos, 105.000 litros para centrales lecheras de nueva creación. Aunque se podrían autorizar excepcionalmente centrales lecheras más pequeñas en casos especiales, como se hace en la actualidad, a menos que prevalezcan condiciones no reflejadas en los modelos de este estudio, la construcción de centrales lecheras de menor capacidad debería ser desalentada.
- 2) Las centrales lecheras existentes que operan en la actualidad por debajo del nivel de 105.000 litros diarios deberían ser provistas de incentivos para la consolidación de plantas y mercados a fin de acelerar el movimiento hacia una organización más eficiente (15).
- 3) No debería imponerse ninguna restricción con respecto al área geográfica en la cual una central lechera puede vender sus productos. La eliminación de las restricciones actuales con respecto a la venta de leche pasteurizada contribuiría a un flujo más eficiente de productos finales (16).
- 4) El sistema de higienización obligatoria debería extenderse a todo el país. Las centrales lecheras existentes podrían proporcionar leche higienizada a todos los consumidores a través de expansión o alargamiento de la jornada de trabajo, una vez que se eliminasen las restricciones actuales.
- 5) Los precios máximos de venta deberían afectar análogamente a la leche pasteurizada y a la esterilizada, lo cual eliminaría un importante incentivo para la producción de leche esterilizada en exceso de la necesaria, y contribuiría a una mayor eficiencia.

---

(15) Dado que la optimización de la eficiencia del sistema total no garantiza necesariamente que la eficiencia de cada participante sea maximizada, serían necesarios programas adicionales para paliar posibles impactos económicos adversos en algunos participantes, si el sistema ha de moverse hacia una mayor concentración. Tales programas podrían incluir, por ejemplo, subsidios selectivos a participantes afectados, mayor participación de empresas públicas en la industria, etc.

(16) Aunque no se consiguiera reducir el número de centrales lecheras, la consecución de un flujo óptimo supondría un coste unitario que sería sólo un 13,2 por 100 más alto que el obtenido en un sistema óptimo de veintidós centrales lecheras. Además, la eliminación de las restricciones existentes podría originar una disminución en la proporción de leche esterilizada producida, lo que resultaría en una mayor eficiencia del sistema.

- 6) El sistema actual para establecer los precios máximos de venta, en el cual se utilizan como orientación los costes de centrales lecheras con capacidades de 25.000 a 35.000 litros diarios, que es consistente con la necesidad de una industria a más concentrada revelada por este estudio, es inconsistente con partes de la regulación existente, que tienden a fomentar la construcción de centrales lecheras relativamente pequeñas.
- 7) Las diferencias interprovinciales de precios de la leche al ganadero y al consumidor deberían establecerse de tal manera que se consiga minimizar los costes totales de recogida, tratamiento y distribución y no solamente las de transporte de leche cruda.

## REFERENCIAS

- [1] BOBST, B. W., y M. V. WAANANEN, 1968: «Cost and Price Effects of Concentration Restrictions in the Plant Location Problem». *American Journal of Agricultural Economics*, 50, 676-86.
- [2] BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, 1966: Decreto 2478/1966, de 6 de octubre, por el que se aprueba el reglamento de centrales lecheras y otras industrias lácteas, *Boletín Oficial del Estado*, 240, 12690-99.
- [3] BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, 1972: Decreto 544/1972, de 9 de marzo, sobre modificación de determinados artículos del reglamento de centrales lecheras y otras industrias lácteas. *Boletín Oficial del Estado*, 63, 4454-57.
- [4] BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, 1974: Decreto 758/1974, de 15 de marzo, sobre modificación de determinados artículos del reglamento de centrales lecheras y otras industrias lácteas. *Boletín Oficial del Estado*, 74, 6222.
- [5] BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO, 1975: Decreto 3520/1974, de 20 de diciembre, por el que se regulan las campañas lecheras 1975-76, 1976-77 y 1977-78. *Boletín Oficial del Estado*, 10, 614-17.
- [6] CHERN, W., y L. POLOPOLUS, 1970: «Discontinuous Plant Cost Functions and a Modification of the Stollsteimer Location Model». *American Journal of Agricultural Economics*, 54, 581-86.
- [7] Control Data Corporation, 1973. *APEX-II Reference Manual*. Control Data Corporation, Minneapolis, Minnesota.
- [8] Control Data Corporation, 1974. *APEX-I Reference Manual*. Control Data Corporation, Minneapolis, Minnesota.
- [9] DÍEZ-PATIER, E., 1976: *Efficient Organization of the Fluid Milk Subsystem of Spain*. Tesis doctoral, inédita Departamento de Economía Agraria, Michigan State University.
- [10] DÍEZ-PATIER, E., 1976: «Diferencias interprovinciales óptimas de precios de la leche al ganadero y al consumidor. ITEA, 24, 67-72.
- [11] FRENCH, B. C., 1973: *The Analysis of Productive Efficiency in Agricultural Marketing: Models, Methods and Progress*. Departamento de Economía Agraria, University of California, Davis.
- [12] HARSH, S. B., 1975: *Linear Programming Matrix Conversion Program*. Departamento de Economía Agraria. Michigan State University.
- [13] HARSH, S. B., 1975: *Transshipment Linear Programming Conversion Program*. Departamento de Economía Agraria. Michigan State University.
- [14] HURT, V. G., y T. E. TRAMEL, 1965: «Alternative Formulations of the Transshipment Problem». *Journal of Farm Economics*, 47, 763-773.
- [15] KING, G. A., y S. H. LOGAN, 1964: «Optimum Location, Number and Size of Processing Plants with Raw Products and Final Product Shipments». *Journal of Farm Economics*, 46, 94-108.

- [16] KLOTH, D. W., y L. V. BLAKLEY, 1971: «Optimum Dairy Plant Location with Economies of Size and Market Share Restrictions». *American Journal of Agricultural Economics*, 53, 561-66.
- [17] LADD, G. W., y M. P. HALVORSON, 1970: «Parametric Solutions to the Stollsteimer Model». *American Journal of Agricultural Economics*, 52, 578-80.
- [18] LEATH, M. N., y J. E. MARTIN, 1966: «The Transshipment Problem with Inequality Restraints». *Journal of Farm Economics*, 48, 894-908.
- [19] MINISTERIO DE AGRICULTURA, 1973: *Boletín Mensual de Estadística*, 8-9/1973. Servicio de Publicaciones, Ministerio de Agricultura, Madrid.
- [20] MINISTERIO DE AGRICULTURA, 1973: *Boletín Mensual de Estadística*, 11/1973. Servicio de Publicaciones, Ministerio de Agricultura, Madrid.
- [21] MINISTERIO DE AGRICULTURA, 1974: *Boletín Mensual de Estadística*, 2/74. Servicio de Publicaciones, Ministerio de Agricultura, Madrid.
- [22] MINISTERIO DE AGRICULTURA, 1974: *Boletín Mensual de Estadística*, 5/74. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Agricultura, Madrid.
- [23] MINISTERIO DE AGRICULTURA, 1974: *Relación de Centrales Lecheras*. Sección de Industrias Lácteas, Ministerio de Agricultura. Madrid.
- [24] OLSON, F. L., 1959: «Location Theory as Applied to Milk Processing Plants». *Journal of Farm Economics*, 41, 1546-56.
- [25] POLOPOLUS, L., 1965: «Optimum Plant Numbers and Locations for Multiple Product Processing». *Journal of Farm Economics*, 47, 287-95.
- [26] STOLLSTEIMER, J. F., 1963: «A Working Model for Plant Numbers and Locations». *Journal of Farm Economics*, 45, 631-645.
- [27] TOFT, H. I.; P. A. CASSIDY and W. O. MCCARTHY, 1970: «Sensitivity Testing and the Plant Location Problem». *American Journal of Agricultural Economics*, 52, 403-410.
- [28] TUNG, T. H.; L. REU y R. H. MILLAR, 1968: *A Location Programming Model of the Colorado Dairy Industry*. Boletín Técnico núm. 99, Estación Agrícola Experimental, Colorado State University.
- [29] UNIÓN NACIONAL DE EMPRESARIOS, 1975: *Pasado, presente y... futuro de la ganadería española*. Hermandad Sindical de Labradores y Ganaderos.
- [30] WARRACK, A. A., y L. B. FLETCHER, 1970: «Plant Location Model Suboptimization for Large Problems». *American Journal of Agricultural Economics*, 52, 587-90.
- [31] WILLIAMSON, J. C., 1962: «The Equilibrium Size of Marketing Plants». *Journal of Farm Economics*, 44, 953-67.

## RESUMEN

El objetivo básico de este trabajo consistió en la determinación del número, tamaño y localización óptimos de centrales lecheras y de las diferencias interprovinciales óptimas de precios de la leche al ganadero y del producto final envasado al consumidor, para la España peninsular. El modelo básico utilizado fue el de transbordo. El principal propósito de este análisis fue determinar los ajustes en los tamaños y números de centrales lecheras necesarios para proporcionar un esquema más eficiente de recogida, tratamiento y distribución de la leche que, además, permitiese suministrar leche higienizada a todos los consumidores.

Con este fin se resolvieron tres modelos ex-post (año lechero 1973-74) y dos ex-ante (año 1978). De acuerdo con el esquema de coste mínimo obtenido para 1973-74, veintidós centrales lecheras, tratando un volumen medio diario de 316.316 litros por central lechera, hubiesen suministrado leche higienizada a todos los consumidores a niveles de consumo de aquel año, a un coste medio de 4,07 pesetas por litro. Los costes de tratamiento representarían cerca del 70 por 100 de los costes unitarios. Se obtuvieron también los tamaños y localización óptimos de estas centrales lecheras y los flujos óptimos de leche cruda e higienizada, así como diferencias interprovinciales óptimas de precios al ganadero y al consumidor.

El esquema real de cincuenta y siete centrales lecheras, tratando una cantidad media de 80.975 litros por central lechera al día y proporcionando una cantidad de leche higienizada inferior a los dos tercios de la cantidad total de leche consumida en forma líquida en 1973-74, podría haber alcanzado un coste unitario mínimo de 4,61 pesetas por litro de leche higienizada. El coste real debió ser igual o, probablemente, mayor que esta cifra.

Una asignación uso-producto más eficiente hubiera permitido alcanzar, en las condiciones de 1973-74, de un coste unitario de 4,56 pesetas por litro.

Para 1978 se proyectó que serán necesarios 8.460.000 litros de leche al día, un aumento del 21,5 por 100 con respecto a 1974, para consumo en forma líquida. El esquema de coste mínimo para 1978 supondría veintiún centrales lecheras, tratando una cantidad media diaria de 402.855 litros por central lechera, a un coste unitario, en precios de 1974, de 4,06 pesetas/litro, si se considera que todos los costes se verán afectados igualmente por la inflación. Los costes de tratamiento representarían más del 68 por 100 del coste unitario. La solución óptima sería estable incluso con reducciones en los costes de tratamiento de hasta un 9,5 por 100 o aumentos de hasta un 7 por 100.

Si el componente laboral de los costes de tratamiento se considera que aumentará un 20 por 100 más que los restantes componentes del coste total para 1978, la solución óptima incluiría también 21 centrales lecheras, aunque una de ellas sería diferente de la solución óptima bajo la asunción previa.

Finalmente, hay que notar que este estudio es un análisis estático de un sistema evidentemente dinámico. Aunque la consideración de los modelos ex-ante alivia un tanto el problema, no lo resuelve.

Los resultados del estudio han de verse como una indicación de dirección de cambio más que como una especificación precisa de una posición de equilibrio. En cualquier caso, la información económica sobre el subsector lechero debe acumularse con el tiempo y, en este sentido, este estudio representa una contribución a la acumulación de resultados de investigación que son cada vez más necesarios.

## R É S U M É

L'objectif essentiel de ce travail a consisté dans la détermination du nombre, de la dimension et de l'emplacement les meilleurs des centrales laitières et des différences interprovinciales optimales des prix du lait à l'éleveur et du produit final emballé au consommateur pour l'Espagne péninsulaire. Le modèle de base utilisé a été celui du transbordement. Le but principal de cette analyse a été de déterminer les adaptations nécessaires des dimensions et du nombre des centrales laitières pour fournir un schéma plus efficace de la récolte, du traitement et de la distribution du lait qui, en outre, permettrait de fournir du lait hygiénisé à tous les consommateurs.

A cette fin, on a considéré trois modèles ex post (année laitière 1973-74) et deux ex ante (année 1978). Selon le schéma du coût minimum obtenu pour 1973-74, vingt-deux centrales laitières, traitant un volume moyen quotidien de 316.316 litres par centrale laitière, auraient fourni du lait hygiénisé à tous les consommateurs aux niveaux de consommation de cette année-là, à un prix moyen de 4,07 pesetas le litre. Les coûts de traitement représenteraient près de 70 pour cent des prix unitaires. On a obtenu également la dimension et l'emplacement optimaux de ces centrales laitières et les flux optimaux de lait cru et hygiénisé, ainsi que les différences interprovinciales optimales de prix à l'éleveur et au consommateur.

Le schéma séel de 57 centrales laitières traitant un volume moyen de 80.975 litres par centrale laitière et par jour et fournissant une quantité de lait hygiénisé inférieure aux deux tiers de la quantité totale de lait consommé sous forme liquide en 1973-74, pourrait avoir atteint un coût unitaire minimal de 4,61 pesetas par litre de lait hygiénisé. La coût réel a dû être égal à ce chiffre ou, probablement, supérieur.

Une assignation usage-produit plus efficiente aurait permis d'atteindre, dans les conditions de 1973-74, un coût de 4,56 pesetas par litre.

Pour 1978, on prévoit que 8.460.000 litres de lait par jour, soit une augmentation de 21,5 pour cent par rapport à 1974, seront nécessaires pour la consommation sous forme liquide. Le schéma du coût minimum pour 1978 représenterait 21 centrales laitières, traitant un volume moyen de 402.855 litres par jour et par centrale laitière à un coût unitaire, aux prix de 1974, de 4,06 pesetas/litre, en considérant que tous les coûts se verront affectés d'une manière égale par l'inflation. Les coûts de traitement représenteraient plus de 68 pour cent du coût unitaire. La solution optimale serait stable, même avec des réductions dans les coûts de traitement allant jusqu'à 9,5 pour cent ou des augmentations allant jusqu'à 7 pour cent.

Si l'on considère que l'élément travail des coûts de traitement augmentera de 20 pour cent de plus que les autres éléments du coût total pour 1978, la solution optimale comprendrait également 21 centrales laitières, mais l'une d'elles serait différente de la solution optimale selon le projet cité plus haut.

Enfin, il faut noter que cette étude est une analyse statique d'un système évidemment dynamique. Même si l'examen des modèles ex ante soulage un peu le problème, il ne le résout pas.

Les résultats de l'étude doivent être vus comme une indication de la direction du changement plus que comme la spécification précise d'une position d'équilibre. En tout cas, l'information économique sur le sous-secteur laitier doit s'accumuler avec le temps et, dans ce sens, cette étude représente une contribution à l'accumulation de résultats de recherche qui sont de plus en plus nécessaires.

## SUMMARY

The basic objective of this paper consisted in the determination of the optimum number, size and location of fluid milk processing plants and of interprovince price differentials for both raw and finished milk for Peninsular Spain. The basic analytical tool used was the transshipment model. The main purpose of this analysis was to determine the adjustments in sizes and numbers of plants that would provide a more efficient pattern for milk assembly, processing, and distribution which, furthermore, would allow to provide hygienized milk to all consumers.

Three ex-post (1973-74 dairy marketing year) and two ex-ante (1978 calendar year) models were solved. According to the least cost pattern obtained for 1973-74, twenty-two plants, processing a daily average volume of 316,316 liters of milk per plant would have provided processed milk to all consumers at that year's consumption levels at an average cost of 4.07 pesetas per liter. Processing costs represented almost 70 percent of unit costs. Optimum location and sizes of plants and optimum flow of raw and processed milk were also obtained. Optimum provincial price location differentials for raw and finished milk consistent with the minimum cost solution were obtained.

The actual pattern of fifty-seven plants, processing a daily average of 80,975 liters per plant and providing an amount of processed milk which was less than two-thirds of the total milk consumed in fluid form in 1973-74, could have attained a minimum average unit cost of 4.61 pesetas per liter of processed milk. The actual cost was equal to or, presumably, greater than this amount.

A more efficient product-use allocation of milk would have permitted the attainment, under 1973-74 conditions, of a unit cost of 4.56 pesetas per liter.

For 1978, it was projected that 8,460,000 liters of milk per day, a 21.5 percent increase with respect to 1974, will be needed for fluid consumption. The least cost pattern for 1978 would involve twenty-one plants, processing a daily average of 402,855 liters per plant at a unit cost, in 1974 prices, of 4.06 pesetas per liter, if all costs are assumed to be equally affected by inflation. Processing costs would represent more than 68 percent of unit costs. The optimal solution was found to be stable even with reductions in processing costs up to 9.5 percent of increases up to 7 percent.

If the labor component of processing costs is assumed to increase by 20 percent more than all the other components of aggregate total costs by 1978, the optimal solution would also involve twenty-one plants, although one of them will be different from the optimal solution under the previous alternative assumption.

Finally, it is noted that this study was a static analysis of a system which is evidently dynamic. While the consideration of ex-ante models alleviates to some extent the problem, it does not solve it. The results of the study must be viewed more as an indication of direction of change rather than a precise specification of an equilibrium position. At any rate, economic information about the dairy subsector should be accumulated over time and, in this sense, this study represents only a beginning contribution to the accumulation of research results that are increasingly needed.