

MODELO DE PROGRAMACION LINEAL APLICADO A LA DETERMINACION DEL PLAN DE CULTIVOS Y DIMENSION DE UNA EXPLOTACION FAMILIAR IDEAL EN REGADIO

Por

FRANCISCO GOMEZ IRURETA

Doctor Ingeniero Agrónomo
Diplomado en Estadística

S U M A R I O :

1. INTRODUCCIÓN.—2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO. 2.1. Supuestos referentes a los cultivos. 2.2. Supuestos referentes a la ganadería. 2.3. Supuestos referentes a la mecanización. 2.4. Supuestos referentes a la mano de obra.—3. FUNCIÓN ECONÓMICA.—4. RESTRICCIONES. 4.1. Restricciones de alternativa de cultivos. 4.2. Restricciones de tracción. 4.3. Restricciones de mano de obra: tractorista y regador. 4.4. Restricciones de mano de obra: peón y mujer.—5. MATRIZ REDUCIDA DEL ENSAYO.—6. RESULTADOS DEL ENSAYO. 6.1. Dimensión de la explotación. 6.2. Alternativa óptima. 6.3. Tracción. 6.4. Mano de obra especializada. 6.5. Mano de obra no especializada. 6.6. Producto neto óptimo.

1. INTRODUCCION

Entre los métodos e instrumentos modernos utilizados en la Planificación de la Empresa Agraria, la Programación Lineal va adquiriendo gran difusión.

En el momento actual, son bastante frecuentes los ensayos de este tipo de investigación a nivel de la empresa agraria; su aplicación en el plano macro-económico es todavía muy tímida de-

bido a la gran dificultad que entraña el cálculo de los coeficientes para la formación tanto de la función económica como del grupo de restricciones.

Diversos países han programado linealmente algunos tipos de explotaciones agrarias que por sus características de control de las producciones y de los factores de producción, se asemejan notablemente al proceso productivo de una empresa industrial; un ejemplo de ello —quizá el más característico— es el tipo de explotaciones agrícolas bajo cristal, en las que el proceso productivo ha eliminado casi totalmente los factores incontrolables y el modelo de programación lineal aplicado es muy realista en cuanto a los coeficientes técnicos a emplear, interviniendo, no obstante, con carácter aleatorio más o menos intenso, los precios de mercado de los productos agrícolas. La aleatoriedad de los precios de venta se debe principalmente al tipo de demanda, normalmente poco elástica para los productos agrarios.

Como es sabido, la mayor dificultad para la aplicación de un modelo matemático a la realidad de la empresa agraria, estriba en la adecuada elección de los parámetros para que los resultados obtenidos sean razonablemente aplicables.

Un modelo de Programación Lineal puede aplicarse al caso concreto de una explotación agraria con ánimo de determinar la conducta a seguir por el empresario en lo referente a algunos de los aspectos de su gestión; estos programas han de ser paramétricamente muy ajustados y su validez es tanto mayor cuanto más corto sea el plazo de aplicación para eludir las oscilaciones de algunos parámetros, que al variar sensiblemente, introducen modificaciones en el programa, obligando a que el modelo no sea estático sino dinámico.

Existe otra aplicación de este modelo matemático, aplicación en la que encaja el presente ensayo, que consiste en sacrificar la precisión en la obtención de los parámetros con el fin de obtener unos resultados razonables que sirvan únicamente de orientación, sin que pueda afirmarse que la solución obtenida ha de aplicarse sin más reflexión. Por el contrario, de los resultados se podrá seguir que el óptimo se encuentra próximo a la ordenación conseguida, siendo necesario «a posteriori» realizar algunos ajustes.

Como se ha dicho, este ensayo ha tenido como finalidad la obtención de unos resultados en cuyo contorno se hallará posiblemente el óptimo deseado.

Se ha elegido una zona de regadío con el ánimo de eludir la inestabilidad en los rendimientos de los cultivos; en el secano los parámetros referentes a rendimientos serían variables aleatorias que complican notablemente la aplicación del modelo lineal, ya no en teoría sino en la práctica.

Finalmente, el objeto de este trabajo es primordialmente mostrar un ensayo de programación lineal que pueda ser útil en estudios posteriores sobre el cálculo del plan de cultivos y dimensión de una explotación; es obvio que al modelo presentado se le pueden objetar reparos siempre que se pretenda que sus resultados tienen la virtud de ser el cuadro exacto que se deseaba hallar; no obstante, si se estima la orientación que se deduce del estudio, creemos que el modelo puede ser útil introduciendo sucesivos perfeccionamientos.

2. DESCRIPCION GENERAL DEL MODELO

Para formar el modelo se ha tenido que recurrir a establecer determinados supuestos; partiendo siempre que se ha podido de datos reales sobre la situación de producciones y mercados, y estimando aquellos puntos sobre los que no se posee una información directa, se ha obligado a que el Programa Lineal se ajuste a unas hipótesis lo más reales posible.

2.1. SUPUESTOS REFERENTES A CULTIVOS

Dentro de los cultivos que la climatología de un regadío meridional permite establecer, se han elegido once, que cuentan con tradición entre los agricultores. Estos cultivos han sido:

- S_0 = Trigo
 - S_1 = Patata de 1.^a época
 - S_2 = Patata de 2.^a época
 - S_3 = Tomate
-

Teniendo a la vista el mencionado cuadro de alternativas, se observa que un cultivo cualquiera puede estar en más de una hoja y ocupar distinta superficie en las hojas en que aparece; por ello, se considera distinto un mismo cultivo en diferentes hojas, por lo que a las incógnitas se les añade un segundo subíndice de acuerdo con la hoja en que se halla el cultivo. Pero además, dentro de una misma hoja, un mismo cultivo puede presentarse varias veces según suceda a cultivos diferentes; así se obtienen incógnitas de superficie con tres subíndices, dependiendo la presencia del último de que exista o no el mismo cultivo en la misma hoja ninguna o varias veces.

Las incógnitas resultantes son en número de 34, cuya descripción es la siguiente:

- $S_{01} = X_1 =$ superficie de trigo en primera hoja.
- $S_{03} = X_2 =$ superficie de trigo en tercera hoja.
- $S_{13} = X_3 =$ superficie de patata de 1.ª época en tercera hoja.
- $S_{211} = X_4 =$ superficie de patata de 2.ª época en primera hoja, detrás del trigo.
- $S_{212} = X_5 =$ superficie de patata de 2.ª época en primera hoja, detrás de cebada.
- $S_{22} = X_6 =$ superficie de patata de 2.ª época en segunda hoja.
- $S_{231} = X_7 =$ superficie de patata de 2.ª época en tercera hoja, detrás del trigo.
- $S_{232} = X_8 =$ superficie de patata de 2.ª época en tercera hoja, detrás de la cebada.
- $S_{233} = X_9 =$ superficie de patata de 2.ª época en tercera hoja, detrás del algodón.
- $S_{24} = X_{10} =$ superficie de patata de 2.ª época en cuarta hoja.
- $S_{33} = X_{11} =$ superficie de tomate en tercera hoja.
- $S_{41} = X_{12} =$ superficie de pimiento en primera hoja.
- $S_{42} = X_{13} =$ superficie de pimiento en segunda hoja.
- $S_{431} = X_{14} =$ superficie de pimiento en tercera hoja, detrás de la cebada.
- $S_{432} = X_{15} =$ superficie de pimiento en tercera hoja, detrás del algodón.
- $S_{44} = X_{16} =$ superficie de pimiento en cuarta hoja.
- $S_{52} = X_{17} =$ superficie de algodón en segunda hoja.

- $S_{61} = X_{18} =$ superficie de maíz grano en primera hoja.
 $S_{62} = X_{19} =$ superficie de maíz grano en segunda hoja.
 $S_{631} = X_{20} =$ superficie de maíz grano en tercera hoja, detrás de la cebada.
 $S_{632} = X_{21} =$ superficie de maíz grano en tercera hoja, detrás del algodón,
 $S_{64} = X_{22} =$ superficie de maíz grano en cuarta hoja.
 $S_{71} = X_{23} =$ superficie de cebada en primera hoja.
 $S_{73} = X_{24} =$ superficie de cebada en tercera hoja.
 $S_{22} = X_{25} =$ superficie de habas en segunda hoja.
 $S_{34} = X_{26} =$ superficie de habas en cuarta hoja.
 $S_{911} = X_{27} =$ superficie de maíz forrajero en primera hoja, detrás del trigo.
 $S_{912} = X_{28} =$ superficie de maíz forrajero en primera hoja, detrás de la cebada.
 $S_{92} = X_{29} =$ superficie de maíz forrajero en segunda hoja.
 $S_{931} = X_{30} =$ superficie de maíz forrajero en tercera hoja, detrás del trigo.
 $S_{932} = X_{31} =$ superficie de maíz forrajero en tercera hoja, detrás de la cebada.
 $S_{933} = X_{32} =$ superficie de maíz forrajero en tercera hoja, detrás del algodón.
 $S_{94} = X_{33} =$ superficie de maíz forrajero en cuarta hoja.
 $S = X_{34} =$ superficie de alfalfa, fuera de alternativa.

2.2. SUPUESTOS REFERENTES A LA GANADERIA

En la enumeración de los cultivos que se estudian, existen cuatro por lo menos cuya dedicación principal es la alimentación del ganado; no es difícil partir de la base de una dieta compensada para el ganado mediante esos productos y establecer el beneficio de estos cultivos, a través de los productos ganaderos obtenidos. Así se hizo en principio, obteniéndose una matriz de 34 incógnitas y 58 restricciones, pero surgieron determinadas anomalías en la resolución del programa mediante un Ordenador electrónico. Por ello, se prescinde de la ganadería estableciendo un modelo más sencillo, que es el que se presenta en este trabajo

sin que por ello dejemos de tener muy presente la resolución del Programa tal como se planteó en un principio.

2.3. SUPUESTOS REFERENTES A LA MECANIZACION

En este aspecto de medios de producción, se ha previsto en el modelo que la explotación cuente con el equipo de máquinas que a continuación se detalla:

tracción:

tractor de 35 CV.

maquinaria para preparación del terreno:

arado trisurco,
arado de discos,
desbrozadora.

maquinaria para la siembra:

sembradora de líneas,
abonadora de cadenas o discos.

maquinaria para la recolección:

guadañadora,
rastrillo de descarga lateral,
segadora-recogedora de maíz,
segadora-atadora,
trilladora,
arrancadora de patatas.

maquinaria para transporte:

remolque de 5 toneladas.

Asimismo, se supone que la recolección de algodón estará facilitada mediante alquiler de una cosechadora para este cultivo, sin que la gran cantidad de mano de obra necesaria para la recolección sea una barrera insuperable, en el supuesto del ámbito familiar en que nos movemos.

2.4. SUPUESTOS REFERENTES A LA MANO DE OBRA

Este es quizás el punto más delicado en el modelo que nos ocupa. Se trata, como anteriormente se ha dicho, de una explotación de tipo familiar; la mayor dificultad estriba en determinar qué volumen de mano de obra puede aportar a la explotación una familia. Nos vemos obligados a imaginarnos un tipo de familia.

Puede suponerse una familia en que existan por lo menos dos varones a los que se les califique como mano de obra especializada; a estas dos personas se les supone pueden realizar con eficacia la labor de tractorista y regador, indistintamente.

Por otra parte, es seguro que una mujer perteneciente a la familia puede en determinados momentos aportar su esfuerzo al trabajo en la explotación.

De lo dicho anteriormente, podemos suponer que la familia está constituida de la siguiente forma: el padre y un hijo mayor que van a aportar indistintamente su trabajo al tractor y a las faenas de riego.

Otro hijo, de más de 18 años, la madre y dos menores de 18 años que van a poder ayudar en las faenas agrícolas cuando el momento así lo requiera.

De esta manera, el modelo se estructura, en cuanto a mano de obra, con la aportación de dos personas para los trabajos especializados de tractorista y regador y el equivalente a la potencialidad de tres peones para los trabajos no especializados.

3. FUNCION ECONOMICA

La función económica a optimizar, va a ser el producto neto de la explotación, entendiendo por tal, el resultado de los ingresos menos los gastos por hectárea de cada cultivo, por la superficie dedicada al mismo, y ello extendido a todos los cultivos.

El cálculo de los gastos se ha realizado a través de los siguientes puntos:

1. *Materias primas:*
 - 1.1. semilla.
 - 1.2. abonos.
-

- 1.3. insecticidas.
- 1.4. herbicidas.
- 1.5. agua.
- 2. *Mecanización:*
 - 2.1. labores de alzar.
 - 2.2. labores de gradear.
 - 2.3. acarreo de abono.
 - 2.4. labores de siembra.
 - 2.5. labores de abonado.
 - 2.6. labores de recolección.
- 3. *Mano de obra.*
- 4. *Gastos indirectos.*

El anterior estudio ha supuesto un laborioso trabajo no carente (contra nuestra voluntad) de algunas imprecisiones.

En lo referente a los ingresos se han tomado los rendimientos habituales para estos cultivos, así como los precios en el mercado que se cotizaron en 1962. Respecto a los rendimientos, pueden aceptarse con relativa confianza las cifras utilizadas, debido al factor estabilizador que introduce el regadío; en lo referente a los precios existe una variabilidad notable de una campaña a otra para la mayor parte de los productos considerados; ello conduce a que el modelo adolezca de mayor debilidad en este aspecto que tan directamente influye en la consideración del producto neto de cada cultivo y, por lo tanto, en la función económica. Por esta razón, se notarán algunas anomalías en cuanto al beneficio de cada cultivo, anomalías que de hecho ocurrieron en el momento considerado; por ejemplo, el pimiento se pagó muy bien y el tomate, por el contrario, tuvo un precio muy bajo, sin que quiera decirse que en el futuro continúe la misma situación.

De esta manera, se ha llegado a obtener los coeficientes que figuran en la función económica que se ofrece a continuación.

$$\begin{aligned} \text{Max. } & 2700 S_{01} + 2700 S_{03} + 8600 S_{13} + 4000 S_{211} + 4000 S_{212} + 4000 S_{22} + 4000 S_{231} + 4000 \\ & S_{232} + 4000 S_{233} + 4000 S_{24} + 2800 S_{33} + 14500 S_{41} + 14500 S_{42} + 14500 S_{431} + 14500 \\ & S_{432} + 14500 S_{44} + 8800 S_{52} + 5200 S_{61} + 5200 S_{62} + 5200 S_{631} + 5200 S_{632} + 5200 S_{64} \\ & + 1800 S_{71} + 1800 S_{73} + 1500 S_{82} + 1500 S_{84} + 1700 S_{911} + 1700 S_{912} + 1700 S_{92} + \\ & 1700 S_{931} + 1700 S_{932} + 1700 S_{933} + 1700 S_{94} + 1500 S \end{aligned}$$

4. RESTRICCIONES

Se han establecido 43 restricciones que afectan a los cultivos, a la tracción y a la mano de obra. A continuación se detallan los criterios seguidos para formar estas restricciones.

4.1. RESTRICCIONES DE ALTERNATIVA DE CULTIVOS

Las restricciones debidas a la alternativa de cultivos provienen de la sucesión de los mismos en 4 hojas. En este tipo de restricciones simplemente se hace constar la equivalencia entre las superficies de los diferentes cultivos que se suceden; de la consulta del cuadro núm. 1 se deducen fácilmente las restricciones que figuran a continuación.

Así, por ejemplo, la primera restricción puntualiza que al trigo en 1.ª hoja solamente le puede suceder el maíz forrajero y la patata de 2.ª época, en cuyo caso, la restricción será que la superficie dedicada a trigo ha de ser igual a la que se dedique a patata de 2.ª época en 1.ª hoja. Siguiendo este proceso, se han obtenido 11 restricciones, que quedan como sigue:

$$\begin{aligned}
 1^{\text{a}} \text{ hoja} \dots & \begin{cases} S_{01} - S_{911} - S_{211} = 0 \\ S_{71} - S_{912} - S_{212} - S_{41} - S_{61} = 0 \\ S_{01} + S_{71} - S_{62} = 0 \end{cases} \\
 2^{\text{a}} \text{ hoja} \dots & \begin{cases} S_{92} - S_{92} - S_{22} - S_{42} - S_{62} - S_{72} = 0 \\ S_{92} + S_{22} + S_{42} + S_{62} - S_{02} - S_{72} = 0 \end{cases} \\
 3^{\text{a}} \text{ hoja} \dots & \begin{cases} S_{03} - S_{931} - S_{231} = 0 \\ S_{73} - S_{932} - S_{232} - S_{431} - S_{631} = 0 \\ S_{03} - S_{933} - S_{233} - S_{432} - S_{632} - S_{13} - S_{23} = 0 \\ S_{931} + S_{231} + S_{932} + S_{232} + S_{431} + S_{631} + S_{933} + S_{233} + S_{432} + S_{632} + S_{13} + S_{23} - S_{04} = 0 \end{cases} \\
 4^{\text{a}} \text{ hoja} \dots & \begin{cases} S_{04} - S_{94} - S_{24} - S_{44} - S_{64} = 0 \\ S_{94} - S_{94} + S_{44} + S_{64} - S_{01} - S_{71} = 0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

4.2. RESTRICCIONES DE TRACCIÓN

El criterio seguido para formar estas restricciones ha consistido en componer un calendario de las jornadas que el tractor ha de dedicar en los diferentes meses a los diversos cultivos.

Las jornadas calculadas lo han sido en base a suponer una duración de 8 horas por jornada. Para el cálculo de las jornadas de cada mes, se ha tenido en cuenta la pluviometría en los diferentes meses y la duración de la luz solar; asimismo, se ha tenido en cuenta que en la realidad, en una explotación familiar la jornada se prolonga lo que sea necesario, normalmente más de las ocho horas reglamentarias. En razón de todo ello, han salido las jornadas disponibles que aparecen en el segundo miembro de las inequaciones, que a primera vista pueden parecer excesivas cuando figuran en números superiores a 31 (número máximo de días en un mes), pero que se entiende están expresadas en jornadas de ocho horas.

Han resultado las nueve restricciones siguientes:

Octubre:

$$0,60 S_{01} + 0,60 S_{02} + 0,60 S_{031} + 0,60 S_{032} + 0,60 S_{04} + 2,00 S_{011} + 2,00 S_{012} + 2,00 S_{02} + 2,00 S_{031} + 2,00 S_{032} + 2,00 S_{033} + 2,00 S_{04} + 0,60 S \leq 30$$

Noviembre:

$$0,90 S_{01} + 0,90 S_{02} + 0,70 S_{211} + 0,70 S_{212} + 0,70 S_{22} + 0,70 S_{231} + 0,70 S_{232} + 0,70 S_{233} + 0,70 S_{24} + 0,90 S_{71} + 0,90 S_{72} + 0,90 S_{82} + 0,90 S_{84} \leq 27$$

Diciembre:

No hay restricciones significativas.

Enero:

$$0,23 S_{02} + 0,40 S \leq 20$$

Febrero:

$$2,50 S_{12} \leq 21$$

Marzo:

$$0,60 S \leq 25$$

Abril:

$$0,90 S_{02} + 1,10 S_{02} + 1,10 S_{04} + 0,60 S \leq 26$$

Mayo:

$$0,25 S_{01} + 0,25 S_{02} + 0,90 S_{41} + 0,90 S_{42} + 0,90 S_{431} + 0,90 S_{432} + 0,90 S_{44} + 1,00 S_{51} + 0,25 S_{71} + 0,25 S_{72} + 0,60 S \leq 27$$

Junio:

$$0,70 S_{13} + 1,00 S_{52} + 1,10 S_{61} + 1,10 S_{62} + 1,10 S_{631} + 1,10 S_{632} + 1,10 S_{64} + 0,90 S_{911} + 0,90 S_{912} + 0,90 S_{92} + 0,90 S_{931} + 0,90 S_{932} + 0,90 S_{933} + 0,90 S_{94} + 0,60 S \leq 33$$

Julio:

$$2,50 S_{211} + 2,50 S_{212} + 2,50 S_{22} + 2,50 S_{231} + 2,50 S_{232} + 2,50 S_{233} + 2,50 S_{24} + 0,60 S \leq 35$$

Agosto:

No hay restricciones significativas.

Septiembre:

No hay restricciones significativas.

4.3. RESTRICCIONES DE MANO DE OBRA: TRACTORISTA Y REGADOR

Otro grupo de restricciones lo constituye el correspondiente a mano de obra especializada de tractorista y regador. En el modelo que nos ocupa, se ha supuesto que el tractor —siempre que sea necesario— contará con una persona dedicada a él; ahora bien, en el momento en que el tractor no trabaje, puede esta persona dedicarse a regar; por otra parte, existirá también otro individuo de la familia con plena dedicación a las faenas de riego.

En el modelo, y en lo que a mano de obra se refiere, se supone van a existir dos personas que estarán dedicadas a las labores de llevar el tractor y regar.

Se formó una Tabla, con el número de jornadas que han de dedicarse al riego para cada cultivo y en cada mes; esta Tabla, junto con la establecida para las jornadas de tractor, ha permitido obtener los parámetros para las restricciones que se especifican a continuación. En cuanto a las jornadas disponibles, teniendo en cuenta como anteriormente la pluviometría y la luz solar en cada uno de los meses, se han obtenido los números que figuran en el segundo miembro de las inecuaciones.

Octubre:

$$0,6 S_{61} + 0,6 S_{62} + 0,6 S_{631} + 0,6 S_{632} + 0,6 S_{64} + 2,0 S_{911} + 2,0 S_{912} + 2,0 S_{92} + 2,0 S_{931} + 2,0 S_{932} + 2,0 S_{933} + 2,0 S_{94} + 0,6 S + 1,5 S_{211} + 1,5 S_{212} + 1,5 S_{22} + 1,5 S_{231} + 1,5 S_{232} + 1,5 S_{233} + 1,5 S_{24} + 1,6 S \leq 60$$

Noviembre:

$$0,9 S_{01} + 0,9 S_{02} + 0,7 S_{211} + 0,7 S_{212} + 0,7 S_{22} + 0,7 S_{231} + 0,7 S_{232} + 0,7 S_{233} + 0,7 S_{24} \\ + 0,9 S_{71} + 0,9 S_{72} + 0,9 S_{82} + 0,9 S_{84} + 1,5 S_{01} + 1,5 S_{02} + 1,5 S_{71} + 1,5 S_{72} + 1,5 S_{82} + \\ 1,5 S_{84} \leq 54$$

Diciembre:

No hay restricciones significativas.

Enero:

$$0,2 S_{52} + 0,4 S \leq 40$$

Febrero:

$$2,5 S_{12} + 1,5 S_{82} + 1,5 S_{84} \leq 42$$

Marzo:

$$0,6 S + 1,5 S_{01} + 1,5 S_{02} + 1,5 S_{12} + 1,5 S_{71} + 1,5 S_{72} + 1,5 S_{82} + 1,5 S_{84} + 1,6 S \leq 50$$

Abril:

$$0,9 S_{32} + 1,1 S_{82} + 1,1 S_{84} + 0,6 S + 2,9 S_{01} + 2,9 S_{02} + 2,9 S_{12} + 1,5 S_{82} + 2,9 S_{71} + 2,9 \\ S_{72} + 1,6 S \leq 52$$

Mayo:

$$0,3 S_{01} + 0,3 S_{02} + 0,9 S_{41} + 0,9 S_{42} + 0,9 S_{431} + 0,9 S_{432} + 0,9 S_{44} + 1,0 S_{52} + 0,3 S_{71} + \\ 0,3 S_{72} + 0,6 S + 2,9 S_{12} + 2,9 S_{82} + 1,5 S_{42} + 1,5 S_{431} + 1,5 S_{432} + 1,5 S_{44} + 2,9 \\ S_{52} + 3,2 S \leq 54$$

Junio:

$$0,7 S_{12} + 0,1 S_{52} + 1,1 S_{61} + 1,1 S_{62} + 1,1 S_{631} + 1,1 S_{632} + 1,1 S_{64} + 0,9 S_{911} + 0,9 S_{912} + \\ 0,9 S_{92} + 0,9 S_{931} + 0,9 S_{932} + 0,9 S_{933} + 0,9 S_{94} + 0,6 S + 2,9 S_{32} + 2,9 S_{41} + 2,9 S_{42} + 2,9 \\ S_{431} + 2,9 S_{432} + 2,9 S_{44} + 4,4 S_{52} + 2,9 S_{61} + 2,9 S_{62} + 2,9 S_{631} + 2,9 S_{632} + 2,9 S_{64} + 2,9 \\ S_{911} + 2,9 S_{912} + 2,9 S_{92} + 2,9 S_{931} + 2,9 S_{932} + 2,9 S_{933} + 2,9 S_{94} + 4,8 S \leq 66$$

Julio:

$$2,5 S_{211} + 2,5 S_{212} + 2,5 S_{22} + 2,5 S_{231} + 2,5 S_{232} + 2,5 S_{233} + 2,5 S_{24} + 0,6 S + 1,5 S_{211} + \\ 1,5 S_{212} + 1,5 S_{22} + 1,5 S_{231} + 1,5 S_{232} + 1,5 S_{233} + 1,5 S_{24} + 4,4 S_{82} + 4,4 S_{41} + 4,4 S_{42} + \\ 4,4 S_{431} + 4,4 S_{432} + 4,4 S_{44} + 4,4 S_{52} + 4,4 S_{61} + 4,4 S_{62} + 4,4 S_{631} + 4,4 S_{632} + 4,4 S_{64} + \\ 4,4 S_{911} + 4,4 S_{912} + 4,4 S_{92} + 4,4 S_{931} + 4,4 S_{932} + 4,4 S_{933} + 4,4 S_{94} + 6,4 S \leq 70$$

Agosto:

$$0,6 S + 5,8 S_{211} + 5,8 S_{212} + 5,8 S_{22} + 5,8 S_{231} + 5,8 S_{232} + 5,8 S_{233} + 5,8 S_{24} + 4,4 S_{82} + \\ 4,4 S_{41} + 4,4 S_{42} + 4,4 S_{431} + 4,4 S_{432} + 4,4 S_{44} + 5,9 S_{52} + 4,4 S_{61} + 4,4 S_{62} + 4,4 S_{631} + \\ 4,4 S_{632} + 4,4 S_{64} + 4,4 S_{911} + 4,4 S_{912} + 4,4 S_{92} + 4,4 S_{931} + 4,4 S_{932} + 4,4 S_{933} + 4,4 S_{94} \\ + 6,4 S \leq 70$$

Septiembre:

$$0,6 S + 4,4 S_{211} + 4,4 S_{212} + 4,4 S_{22} + 4,4 S_{231} + 4,4 S_{232} + 4,4 S_{233} + 4,4 S_{24} + 2,9 S_{33} + 2,9 S_{41} + 2,9 S_{42} + 2,9 S_{431} + 2,9 S_{432} + 2,9 S_{44} + 4,4 S_{51} + 4,8 S \leq 72$$

Es conveniente recordar la misma observación realizada —en cuanto a la contabilización de las jornadas— en el Punto 4. 2.

4. 4. RESTRICCIONES DE PEÓN Y MUJER

Se ha supuesto que la familia, descontados el tractorista y el regador, puede efectuar el equivalente al trabajo de tres peones, tomando si es preciso un obrero eventual en algunos casos. Análogamente a lo realizado en el Punto 4. 3. se ha establecido para cada cultivo y en cada mes, las necesidades de mano de obra no especializada, obteniéndose 12 restricciones que figuran a continuación.

Octubre:

$$7,5 S_{011} + 7,5 S_{012} + 7,5 S_{02} + 7,5 S_{031} + 7,5 S_{032} + 7,5 S_{033} + 7,5 S_{04} + 1,2 S + 21,0 S_{33} + 14 S_{41} + 14 S_{42} + 14 S_{431} + 14 S_{432} + 14 S_{44} + 5,6 S_{51} + 5,6 S_{52} + 5,6 S_{531} + 5,6 S_{532} + 5,6 S_{54} \leq 90$$

Noviembre:

$$0,2 S_{01} + 0,2 S_{02} + 2,5 S_{211} + 2,5 S_{212} + 2,5 S_{22} + 2,5 S_{231} + 2,5 S_{232} + 2,5 S_{233} + 2,5 S_{24} + 0,2 S_{71} + 0,2 S_{72} + 0,5 S_{82} + 0,5 S_{84} + 5,6 S_{211} + 5,6 S_{212} + 5,6 S_{22} + 5,6 S_{231} + 5,6 S_{232} + 5,6 S_{233} + 5,6 S_{24} \leq 81$$

Diciembre:

$$1,5 S_{61} + 1,5 S_{62} + 1,5 S_{631} + 1,5 S_{632} + 1,5 S_{64} \leq 60$$

Enero:

$$0,4 S \leq 60$$

Febrero:

$$6,9 S_{12} + 9,6 S_{13} \leq 63$$

Marzo:

$$0,3 S_{01} + 0,3 S_{02} + 0,3 S_{71} + 0,3 S_{72} + 1,2 S \leq 75$$

Abril:

$$10,5 S_{22} + 1,0 S_{52} + 1,0 S_{54} + 1,2 S \leq 78$$

Mayo:

$$1,4 S_{01} + 1,4 S_{02} + 11,7 S_{41} + 11,7 S_{42} + 11,7 S_{431} + 11,7 S_{432} + 11,7 S_{44} + 0,3 S_{52} + 1,4 S_{71} + 1,4 S_{72} + 1,2 S \leq 81$$

Junio:

$$2,5 S_{12} + 6,3 S_{22} + 0,3 S_{31} + 0,3 S_{32} + 0,3 S_{331} + 0,3 S_{332} + 0,3 S_{34} + 0,3 S_{311} + 0,3 S_{312} + 0,3 S_{32} + 0,3 S_{331} + 0,3 S_{332} + 0,3 S_{34} + 5,6 S_{12} \leq 99$$

Julio:

$$6,9 S_{211} + 6,9 S_{212} + 6,9 S_{22} + 6,9 S_{231} + 6,9 S_{232} + 6,9 S_{233} + 6,9 S_{24} + 3,8 S_{41} + 3,8 S_{42} + 3,8 S_{431} + 3,8 S_{432} + 3,8 S_{44} + 0,7 S_{52} + 0,4 S_{61} + 0,4 S_{62} + 0,4 S_{631} + 0,4 S_{632} + 0,4 S_{64} + 1,2 S + 9,6 S_{211} + 9,6 S_{212} + 9,6 S_{22} + 9,6 S_{231} + 9,6 S_{232} + 9,6 S_{233} + 9,6 S_{24} + 5,6 S_{61} + 5,6 S_{62} + 5,6 S_{631} + 5,6 S_{632} + 5,6 S_{64} \leq 105$$

Agosto:

$$30,0 S_{22} + 20,0 S_{41} + 20,0 S_{42} + 20,0 S_{431} + 20,0 S_{432} + 20,0 S_{44} + 1,2 S \leq 105$$

Septiembre:

$$0,6 S + 4,4 S_{211} + 4,4 S_{212} + 4,4 S_{22} + 4,4 S_{231} + 4,4 S_{232} + 4,4 S_{233} + 4,4 S_{24} + 2,9 S_{32} + 2,9 S_{41} + 2,9 S_{42} + 2,9 S_{431} + 2,9 S_{432} + 2,9 S_{44} + 4,4 S_{62} + 4,8 S \leq 108$$

5. MATRIZ REDUCIDA DEL ENSAYO

El conjunto de ecuaciones e inecuaciones fueron vertidas en un cuadro de números, estableciéndose una matriz de 34 columnas y 43 filas. La magnitud del problema hizo necesario la utilización de un Ordenador para su resolución; el Ordenador empleado fue un IBM, modelo 1620, que realizó 20 iteraciones para obtener los resultados finales; el método utilizado para la resolución fue el SIMPLEX.

6. RESULTADOS DEL ENSAYO

Los resultados obtenidos —volviendo a insistir en lo que se dijo en la Introducción— pretenden servir de orientación, sin que en ningún caso pueda afirmarse que ésta sea la solución más ventajosa.

6.1. DIMENSIÓN DE LA EXPLOTACIÓN

Las variables del modelo representan superficies dedicadas a

los cultivos en cada hoja; a estas variables se les ha impuesto una serie de restricciones que han sido consideradas anteriormente. Al obtenerse las soluciones individuales para cada cultivo, se ha podido recomponer y formar la alternativa óptima a la que nos referiremos posteriormente; de esta alternativa se deduce que la dimensión obtenida para la explotación es de 17,7884 hectáreas, que representa el tamaño más favorable de explotación dentro de los supuestos considerados en el modelo. No hay inconveniente en considerar otros cultivos fuera de la alternativa, que permitan mantener una ganadería elegida a priori; en ese caso, la dimensión de la explotación sería mayor.

6.2. ALTERNATIVA ÓPTIMA

Como un poco más arriba se ha dicho, la composición de los resultados obtenidos ha permitido formar la alternativa óptima cuya descripción aparece en el cuadro núm. 2.

CUADRO NÚM. 2

ALTERNATIVA AJUSTADA SEGUN PROGRAMA LINEAL

		1ª HOJA		2ª HOJA	3ª HOJA		4ª HOJA	
E F M A M J J A S O N D		Trigo 1,3270 Ha.	Cebada 3,1201 Ha.	Habas 4,4471 Ha.	Algodón 4,4471 Ha.		Habas 4,4472 Ha.	
					Pimiento 0,6290 Ha.	Patata 3,8181 Ha.		
		Patata 1,3270 Ha.	Pimiento 3,1201 Ha.	Algodón 4,4471 Ha.			Pimiento 1,5008 Ha.	Maíz grano 2,9464 Ha.
		Habas 4,4471 Ha.			Habas 4,4472 Ha.		Trigo 1,3270 Ha.	Cebada 3,1201 Ha.

SUPERFICIE TOTAL: 17,7884 Ha.

Se observa que han quedado excluidos del plan de cultivos, la alfalfa, el maíz forrajero y el tomate. La alfalfa y el maíz forrajero son productos característicos para el reemplazo en la alimentación del ganado y el beneficio calculado para los mismos, a unos precios de mercado de poca consistencia por tratarse de transacciones esporádicas, han resultado bajos, por lo que estos cultivos han sido eliminados en las iteraciones. Algo semejante ocurre con el tomate cuyo precio de cotización en el año considerado fue tan bajo que se reflejó en el beneficio calculado del cultivo, situándolo a un nivel que provocó su eliminación en las iteraciones; es un riesgo de la programación lineal con precios inciertos, el que se prescindiera de un cultivo que quizás en la temporada siguiente alcance unos precios muy remuneradores.

6.3. TRACCIÓN

Establecida la alternativa, se han calculado las horas de ocupación del tractor para atender a los cultivos elegidos; la ocupación es del orden de unas 450 horas al año, empleo a todas luces insuficiente para este tipo de máquina.

En el mes de noviembre se alcanza la ocupación máxima para el tractor con 12 jornadas de trabajo y, desde luego, en ningún caso se llega a los límites impuestos a las restricciones; esto se debe a que son más potentes las restricciones de mano de obra, impidiendo la obtención de unas superficies que sean plenamente satisfactorias bajo el punto de vista de la tracción.

Una salida razonable en la práctica sería que por cada tres explotaciones del tipo familiar estudiado, existiera un tractor para realizar las faenas necesarias; así se llegaría a las 1.500 horas de tracción por año, cifra plenamente satisfactoria.

Esta utilización conjunta del tractor por cada tres explotaciones ofrecería dificultades en el mes de noviembre, para el que habría que recalcular los coeficientes y ver la posibilidad de adelantar algunas labores al mes de octubre que está muy descargado en cuanto a empleo de tractor. Es seguro que con un tractor y, mediante algunos ajustes de detalle, en el mes de octubre y noviembre se puedan llevar tres explotaciones del tipo familiar

considerado, quedando el tractor adscrito a algo más de 50 hectáreas.

6.4. MANO DE OBRA ESPECIALIZADA

En el modelo se ha considerado como mano de obra especializada, el tractorista y el regador. En el mes de agosto se alcanza el límite máximo impuesto a la restricción, quedando en los restantes meses del año mano de obra disponible en cuantía variable. En el total del año quedan 450 jornadas libres —bien entendido, ambos especialistas en conjunto— en el supuesto que el tractorista y el regador se dedicasen únicamente a sus faenas específicas; este subempleo supone que esta mano de obra puede trasladarse en determinados meses a otras faenas. Pero ocurre que, como veremos posteriormente, la mano de obra no especializada alcanza el límite máximo de restricción también en el mes de agosto, por lo que no cabe buscar a la mano de obra especializada una salida en la colaboración con el otro tipo de mano de obra, pues cuando es más necesaria está ocupada. En este modelo el pimiento es el cultivo que por ser muy remunerador, aparece en considerable superficie y por otra parte, obliga al empleo de mucha mano de obra en su recolección, actuando como limitativo de otros cultivos; cabría estudiar la introducción en el modelo de una modificación consistente en limitar la superficie dedicada al pimiento, obteniéndose de esta manera otros resultados que con seguridad consistirían en el aumento de la dimensión de la explotación, como consecuencia de la mayor superficie dedicada a otros cultivos que necesitan menos mano de obra; esta modificación introduciría también variaciones en la tracción y podemos estimar que el modelo variaría tan notablemente en su conjunto, que podría ser un programa lineal perfeccionado, a la vista de la primera aproximación obtenida con el actual.

6.5. MANO DE OBRA NO ESPECIALIZADA

Se ha supuesto que la familia puede aportar como mano de

obra no especializada el equivalente a tres peones; ello sin tener en cuenta la mano de obra especializada que, a efectos del modelo, se considera con independencia.

Se alcanza el límite máximo impuesto a las restricciones en el mes de agosto únicamente, existiendo en los restantes meses un subempleo de cuantía variable. En el conjunto del año el subempleo supone alrededor de 500 jornadas en conjunto. Las razones de esta situación son las apuntadas en el apartado anterior cuando se habló del cultivo del pimiento.

Sería muy interesante, como se ha dicho, el estudiar la limitación de este cultivo para lograr un mayor empleo para la tracción y quizás disminuir la necesidad de mano de obra que viene forzada por la recolección del pimiento.

6.6. PRODUCTO NETO ÓPTIMO

Con la alternativa consignada se ha obtenido un producto neto de 191.267 pesetas, cantidad en la que posiblemente vaya incluida por lo menos en parte, la renta de la tierra, el interés del capital de ejercicio, el gasto de capitales, la contribución e impuestos y los transportes, ya que el cálculo de los gastos indirectos para cada cultivo ha sido uno de los puntos más imprecisos en la elaboración del modelo.

RESUMEN

La Programación Lineal es hoy en día un instrumento perfectamente ágil; su utilización está muy difundida en el campo industrial y de organización de Servicios; sin embargo, en la esfera de la empresa agraria no son muy numerosos los trabajos realizados hasta el momento.

El presente trabajo pretende exponer un ensayo de los posibles puntos a considerar en la planificación de una explotación agraria, obteniéndose junto a la alternativa óptima otros resultados, como el de la dimensión de la explotación y beneficio de la misma.

Los puntos considerados en este trabajo abarcan a los cultivos, mecanización y a la mano de obra en general, sin que entren en el modelo supuestos referentes a la ganadería, ya que, aunque así se hizo en un principio, surgieron dificultades en la resolución del problema mediante un ordenador, dificultades que posiblemente proceden de la existencia de algunas combinaciones lineales en la matriz obtenida.

Se estudian las restricciones que proceden de los puntos considerados mostrando los coeficientes empleados y los supuestos que ha sido necesario establecer para situar los límites de las restricciones.

La función económica a optimizar consiste en la obtención del beneficio máximo, habiéndose formado los coeficientes correspondientes a los cultivos mediante la consideración de los gastos en materias primas, mecanización, mano de obra e indirectos, así como los ingresos probables, teniendo en cuenta los rendimientos medios y los precios producidos en el mercado en un momento dado.

La matriz obtenida consta de 43 restricciones y 34 incógnitas, correspondientes a las distintas superficies que pueden ocupar los cultivos considerados en cada una de las hojas de la alternativa, que, por otra parte, se ha establecido con criterio agronómico, situándola en un imaginario regadío meridional.

Como resultados del ensayo se obtienen la dimensión de la explotación, la alternativa óptima, la tracción empleada, las jornadas correspondientes a la mano de obra especializada y no especializada, así como el producto neto óptimo.

La explotación teórica estudiada puede encasillarse como de «tipo familiar», pero con las premisas de que la familia aporte dos unidades de mano de obra especializada y tres unidades de mano de obra no especializada a lo largo de todo el año.

Ha sido preciso sacrificar la precisión en la obtención de los parámetros, debido a la carencia, en muchos casos, de datos estadísticos tomados de la realidad, habiendo recurrido a sustituirlos por coeficientes teóricos, con la consabida pérdida de ajuste real.

El objeto de este trabajo es, primordialmente, mostrar un ensayo de la Programación Lineal que pueda ser útil en estudios posteriores sobre el cálculo del plan de cultivos y dimensión de una explotación. Si se estima la orientación que se deduce del estudio, puede aventurarse que el modelo puede ser útil introduciendo en cada caso sucesivos perfeccionamientos.

R É S U M É

La Programmation Linéaire est aujourd'hui un instrument parfaitement maniable; son utilisation est très répandue dans le domaine industriel et dans celui de l'organisation des services; cependant, dans le domaine de l'exploitation agricole, les travaux réalisés jusqu'à maintenant ne sont pas très nombreux.

Notre travail cherche à exposer un essai des points qu'on peut considérer pour planifier une exploitation agricole en obtenant à côté de l'alternative la plus favorable d'autres résultats comme celui de la dimension de l'exploitation et le bénéfice de celle-ci.

Les points considérés dans cette étude embrassent les cultures, la mécanisation et la main-d'œuvre en général sans qu'on y fasse entrer des données concernant l'élevage, car, bien qu'on l'ait fait au début, des difficultés se sont présentées dans la solution du problème moyennant un ordonnateur, difficultés qui viennent probablement de l'existence de quelques combinaisons linéaires dans la matrice obtenue.

On étudie les contraintes qui proviennent des points considérés en montrant les coefficients employés et les hypothèses qu'il a été nécessaire d'établir pour situer les limites des restrictions.

L'optimum de la fonction économique à réaliser consiste à obtenir le bénéfice maximum, les coefficients correspondant aux cultures ayant été établis en considérant les dépenses en matières premières, mécanisation, main-d'œuvre et frais indirects, ainsi que les recettes probables en tenant compte des rendements moyens et des prix obtenus sur le marché à un moment donné.

La matrice obtenue comprend 43 contraintes et 34 inconnues, correspondant aux différentes superficies que peuvent occuper les cultures considérées dans chacune des feuilles de l'alternative qu'on a établie selon

un critère agronomique en la plaçant dans une région irriguée imaginaire du Midi.

Comme résultats de l'expérience, on obtient la dimension de l'exploitation, l'alternative optimum, la traction employée, les salaires correspondant à la main-d'œuvre spécialisée et non spécialisée, ainsi que le revenu net optimum.

L'exploitation théorique étudiée peut être classée comme étant de «type familial», mais en partant des données que la famille apporte deux unités de main-d'œuvre spécialisée et trois unités de main d'œuvre non spécialisée le long de l'année.

Il a fallu sacrifier la précision pour l'obtention de paramètres en raison, dans bien des cas, de l'absence de données statistiques prises dans la réalité et on a recouru, pour remplacer celles-ci, à des coefficients théoriques en perdant contact avec la réalité stricte.

L'objet primordial de cette étude est de montrer un essai de Programmation Linéaire qui pourra être utile pour des études postérieures sur le calcul du programme de cultures et les dimensions d'une exploitation. Mais si l'on considère l'orientation qui se déduit de l'étude, on peut hasarder que le modèle pourra être utile en y apportant dans chaque cas des perfectionnements.

SUMMARY

Lineal Programming is today a perfectly viable instrument; its use is widespread in the field of industry and organization of services; nonetheless, in the field of agricultural enterprises, the works carried on up to this time are not very numerous.

The present work intends to present an essay on the possible points to be considered in the planning of an agricultural exploitation, obtaining also, with the optimum alternative, other results, such as the dimensions of an exploitation and its benefits.

The points considered in this work include cultivation, mechanization, and manual labor in general, without including in the model materials concerning cattle-raising, because, although they were included in the beginning, there arose difficulties in the solution of the problem, difficulties which come possibly from the existence of certain lineal combinations in the matrix obtained.

The restrictions are studied which proceed from the points considered, showing the coefficients used, and the hypotheses which is was necessary to establish to locate the limits of the restrictions.

The optimal economic function consists in obtaining the maximum benefit, having formed the coefficients corresponding to the cultivations by consideration of the expenses in primary materials, mechanization, manual labor; and the indirect costs, as well as the probable profits, taking into account the average yields and the market prices at a given moment.

The matrix obtained consists of 43 restrictions and 34 unknowns, corresponding to the various types of land which the crops can occupy, considered in each of the branches of the alternative, which, on the other hand, has been set up according to agronomic criteria, situating it in an imaginary irrigated territory.

As results of the essay, there is obtained the dimension of the exploitation, the optimum alternative, the traction used, the workdays corresponding to the manual labor both specialized and unspecialized, as well as the net optimum product.

The theoretical exploitation here studied can be classified as «family type», but with the premise that the family has two units of specialized manual labor and three units of non-specialized manual labor throughout the year.

It has been necessary to sacrifice precision in obtaining the parameters, because of the lack, in many instances, of statistical data based on reality; it has been necessary to have recourse to substituting for them certain theoretical coefficients, with the familiar loss of contact with reality.

The object of this work is, first, to demonstrate an essay in Lineal Programming which may be useful in later studies on calculation of crop plans and the dimensions of an exploitation; if the orientation deduced from the study seems worthwhile, it may be suggested that the model could be useful, introducing successive improvements in each case.