

¿TIENE LA PROGRAMACION LINEAL UTILIDAD FUERA DEL AMBITO ECONOMICO?

B. SUSANA PENA DE LADAGA⁽¹⁾

Recibido: 05/10/95

Aceptado: 29/03/96

RESUMEN

Se demuestra la utilidad de la Programación Lineal determinística, como instrumento de análisis para investigadores en áreas agropecuarias de gran diversidad. Se consideran modificaciones en las restricciones impuestas al modelo (coeficientes b_i del RHS), relaciones insumo - producto del cuerpo de la matriz (coeficientes a_{ij}) y valores de la función objetivo (c_j), de modo de tener en cuenta aquellos aspectos que involucran faltas de certeza de datos técnicos de cierta consideración.

Palabras clave: programación lineal, validación, análisis de sensibilidad, Depresión del Salado.

¿HAS LINEAR PROGRAMMING UTILITY OUT OF ECONOMIC SUBJECTS?

SUMMARY

The utility of deterministic Linear Programming as analysis instrument for researchers in many farms areas is demonstrated. Changes in model restrictions (b_i), input/output relations (a_{ij}) and objective functions (c_j) are considered. The objective is to confirm technical dates that involve risk because of their lack of certainty.

Key words: linea programming, validation, sensitivity analysis.

INTRODUCCION

La Investigación Operativa, es la ciencia que engloba el conjunto de métodos de análisis científico de los fenómenos de organización (Hillier y Lieberman, 1982). Básicamente estudia el modo de mejorar el funcionamiento y resultado de complejos procesos donde intervienen hombres, productos y máquinas.

Entre los diferentes métodos y técnicas de la Investigación Operativa los programas lineales tienen un campo de aplicación extremadamente amplio. Desarrollados después de la segunda guerra mundial por el sesgo de las investigaciones económicas y econométricas, se convirtieron rápidamente en un eficaz instrumento para los estudios de administración: organización de transportes, determinación de políticas de stocks, estudio de esquemas de información y tantos otros (Cordonnier *et al*, 1973; Hillier y Lieberman, 1982; Hazell y Norton, 1986).

En el área agropecuaria del país, fue utilizada

fundamentalmente en el tema planeamiento, con el fin de obtener el plan de actividades de máximo beneficio teniendo o no en consideración el riesgo (Acosta *et al*, 1979; Deybe, 1986; Bustamante, 1988; Collia, 1989; Deybe, 1989; Pena, 1991), y la composición de raciones para alimentación del ganado de mínimo costo (Ostrowski, 1994).

La Programación Lineal sin embargo brinda valiosa información para conocer íntimamente la estructura del sistema analizado, sirviendo ello de guía para el mejoramiento de su operación. Así es que este método puede ayudar a Ingenieros Agrónomos "no economistas", a resolver interrogantes de gran diversidad.

En el presente trabajo se han realizado los siguientes análisis no convencionales para demostrar algunas de las utilidades que puede tener la Programación Lineal (PL):

- 1- Validación del modelo para verificar que los datos empleados en el mismo se ajustan a la

⁽¹⁾Facultad de Agronomía U.B.A. Cátedra de Administración Rural. Av. San Martín 4453 - (1417) Buenos Aires

realidad (receptividades, engordes, rindes agrícolas y otros).

- 2- Variación de la composición de suelos sobre los planes óptimos.
- 3- Análisis del efecto de la longitud de la rotación agrícola ganadera.
- 4- Modificaciones de la receptividad de los recursos forrajeros.
- 5- Efecto de la fertilización fosforada sobre la productividad de las pasturas cultivadas.
- 6- Porcentaje de destete con distintos niveles tecnológicos propuestos.
- 7- Variación de la calidad mínima de forraje exigida para lograr cada nivel de ganancia diaria propuesto.
- 8- Efecto de la estacionalidad de precios agropecuarios.

Se advierte al lector que la finalidad principal del trabajo, no es brindar recomendaciones técnicas sobre los puntos mencionados, sino demostrar la utilidad de la Programación Lineal para análisis variados como los que se han mencionado.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizó una matriz de tipo "modal", es decir representativa de las explotaciones rurales del partido de Las Flores (Depresión del Salado). Consta de 179 actividades y 112 restricciones. En ella se contemplan como actividades factibles, no sólo manejos mejorados, de tecnologías superiores a las actualmente utilizadas, sino también las empleadas por la mayoría de los productores, que podrían considerarse sistemas de bajo retorno pero también bajo costo de producción. La descripción de la misma, así como los datos físicos y económicos utilizados, puede consultarse en Pena de Ladaga, 1990 y 1991.

Datos económicos utilizados

Los precios de productos utilizados se extractaron de la serie de precios de AACREA (Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agropecuaria). El período de datos fue de 10 años (campanas '77/78 a '86/87 evitando períodos hiperinflacionarios). Los insumos fueron valuados a moneda de diciembre de 1988 por ser este momento representativo de las relaciones de precios promedio de la serie estudiada.

Datos físicos

Se emplearon series de rindes, producción de carne y lana de diez años, extraídas de información física proveniente de INTA y/o CREA.

Validación del modelo

Una vez confeccionado el modelo, el primer paso llevado a cabo con el mismo fue la validación. Ella consiste en verificar si las relaciones establecidas entre actividades, coeficientes y restricciones, son en verdad correctas. Para ello se tomaron cinco casos reales y con ellos se verificó que las receptividades y engordes propuestos (variables con importante grado de incertidumbre) fueran correctos. El procedimiento básicamente consiste en bloquear las actividades no presentes en el establecimiento que se estudia, y confeccionar las pertinentes restricciones de igualdad para fijar la dimensión de las actividades presentes en el campo utilizado para la validación. El resultado económico obtenido y la carga animal alcanzada, deben ser coincidentes con los logrados en la práctica.

En una primera aproximación, ninguno de los casos analizados fue de solución factible, lo cual indicaba claramente que las receptividades forrajeras propuestas, no se acercaban a la realidad. Ellas fueron convenientemente modificadas, hasta lograr que la carga animal del campo, con los engordes reales experimentados y con los recursos forrajeros también conocidos, concluyeran en un resultado posible técnicamente, y desde el punto de vista económico que se acercara el margen bruto total (MBT) obtenido al real del establecimiento.

Una vez validado el modelo, se procedió a la maximización del beneficio económico. La misma señala entre las actividades dominantes, en primer lugar al engorde de terneros comprados fuera del establecimiento hasta aproximadamente los 300 kg, que se invernan sobre pasturas artificiales en reemplazo de la totalidad del pastizal natural. La siembra de sorgo forrajero cubre la baja oferta de pasto que con gran frecuencia se produce durante el ciclo estival. Los terneros son comprados en el mes de mayo (cuando los precios son más bajos). Las ventas de novillitos se producen en el mes de febrero.

Como actividad ganadera complementaria, los ovinos Corriedale surgen en magnitud variable, encontrándose en relación con la superficie de campo natural malo del establecimiento: cuanto mejor es la calidad del recurso suelo, mayor es la proporción de ganado vacuno para engorde, en detrimento de los ovinos que parecen ser relegados a los peores sectores del campo.

La agricultura es una alternativa poco atractiva, excepto en los buenos sectores del establecimiento, donde el cultivo de maíz resulta claramente conveniente: como cultivo alternativo aparece el girasol. Las

tierras agrícolas de menor calidad sólo son utilizadas en pequeña proporción para verdeos de verano, praderizándose mayor superficie que la mínima requerida por la rotación establecida.

Las diferentes alternativas analizadas fueron estudiadas en el establecimiento El Bagual, de 509 ha, por ser representativo del productor medio de la zona. En caso de aplicar el modelo a otro campo, se especifica en la alternativa.

RESULTADOS

MODIFICACIONES DE LOS RECURSOS DE LA EMPRESA (RHS del modelo, o coeficientes b_i)

Efecto de la variación en las superficies y tipos de suelo

Para analizar las variaciones producidas en la clase de actividades que surge como óptima al modificarse la composición del recurso suelo del establecimiento, fueron calculados los planes óptimos en los cinco establecimientos reales utilizados para la validación. La composición de suelos puede verse en el cuadro N° 1.

En la superficie total no se considera la correspondiente a casco y caminos, ni lagunas permanentes; tampoco la dedicada a actividades intensivas (producción porcina).

Los campos seleccionados tienen superficies entre 200 y 1000 ha por ser los más representativos de la zona. De acuerdo a estudios económicos, el productor más grande tendría mayor posibilidad de

incorporar tecnología, en función de su capacidad de ahorro (que le permite optar por las inversiones necesarias), y la asistencia técnica que recibe. Y los campos menores a la superficie nombrada, por las diferentes actividades productivas que en ellas se desarrollan y las formas de organización social de la producción, implicarían un diagnóstico específico.

A pesar de las diferencias existentes entre establecimientos en cuanto a calidad del recurso suelo, las actividades a desarrollar de acuerdo al plan óptimo son prácticamente coincidentes. Es evidente que para lograr el objetivo de maximización del beneficio, parece menester desarrollar siempre determinadas actividades, que son las que ya se han mencionado al hacer referencia a la optimización del modelo.

La modificación de las diferentes calidades de tierra, no genera diferencias en cuanto a las actividades a realizar como óptimas; únicamente se producen pequeñas alteraciones en la proporción en que aparecen las mismas. Cuanto mayor es la superficie agrícola de buena calidad, mayor es el porcentaje de cultivos agrícolas; si se incrementa la TAM, se implantan pasturas para el engorde de ganado.

VARIACION DE LAS RELACIONES INSUMO - PRODUCTO (coeficientes a_{ij})

Duración de la rotación ¿cuántos años de agricultura y cuántos de ganadería?

La cantidad de años que cada tipo de suelo debe permanecer con pradera luego de ser cultivada (o

Cuadro N°1: Establecimientos estudiados

NOMBRE	SUP. TOTAL			TAB		TAM		TGANVI		TGANVII	
	ha	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%
LAS 3 MARIAS	950	60	6,3	174	18,3	494	52,0	222	23,4		
EL MANGOCHO	744	51	6,9	262	35,2	431	57,9	0	0,0		
EL BAGUAL	509	37	7,2	139	27,3	273	53,7	60	11,8		
ALICIA	326	121	37,1	25	7,7	122	37,4	28	8,6		
BARBERO	193	18	9,3	78	40,4	67	34,7	30	15,5		

TAB= tierra agrícola buena. TAM= tierra agrícola mala.
TGANVI= tierra ganadera clase VI. TGANVII= tierra ganadera clase VII.

dejada descansar en campo natural), es un dato que puede tildarse de incierto. Generalmente surge de experiencias empíricas un tanto vagas, carentes de evaluación económica (Hoag y Holloway, 1991). Si bien se hacen recomendaciones al respecto, pocos son los estudios que tienen en cuenta las modificaciones estructurales y químicas que se producen en la tierra en función del tiempo (en años) que ella permanece bajo cultivo agrícola. La PL se presenta en estos casos como un útil instrumento de evaluación de las consecuencias económicas que puede presentar un hecho agronómico técnico no bien estudiado. Las rotaciones postuladas en la matriz base son de 5 años de agricultura seguidos por 5 de ganadería en la TAB y 3 de agricultura seguidos por 5 de ganadería en TAM, que es lo usual en la zona de acuerdo a los especialistas consultados.

Un parametraje^{1/} de la variable permitiría sacar amplias conclusiones al respecto. En este caso, para ejemplificar el proceder, se procedió a evaluar qué sucedería al modificar la rotación para TAB en 6 años de agricultura seguidos por 5 ganaderos y la de TAM en 4 años agrícolas y 5 ganaderos (es decir que se aumenta en cada tipo de suelo un año de agricultura). En ambas soluciones no se produce modificación alguna en cuanto a las actividades que integran el plan de máximo beneficio; pero como es de esperar, varían las dimensiones de las mismas. Al aumentar la superficie agrícola buena, en la misma proporción se incrementa el cultivo de maíz y las hectáreas de rastrojo utilizadas (en desmedro de la pastura de falaris fertilizado) idénticamente al caso en que se aumenta la superficie agrícola del campo. Como consecuencia, hay menor cantidad de tierra ganadera, por lo que disminuye el número de terneros comprados para inverne. Hay sin embargo un leve incremento en el número de cabezas de ovinos raza Romney puestos en servicio en el mes de abril.

Al disminuir en un año agrícola las rotaciones (4 x 5 para TAB y 2 x 5 para TAM) sucede lo inverso: hay menos superficie de maíz, más de falaris fertilizado, se incrementan las cabezas de terneros, disminuyendo los ovinos Romney nombrados.

El MBT está en correspondencia con las rotaciones: a mayor cantidad de años de agricultura, más alto

es el mismo; sin embargo la variación es muy poco considerable (alrededor de 0,4 % más al aumentar un ciclo agrícola y 0,5 % menos al disminuirlo). De este modo, en una primera aproximación parecería que en la zona no sería justificable un exceso de años de cultivos que perjudique al recurso suelo, con el objeto de incrementar los ingresos, ya que los aumentos del mismo son despreciables. Se trata de una zona eminentemente ganadera donde debe tecnificarse la ganadería y no insistir en la agricultura (como en muchos casos se realiza) para mejorar los resultados económicos. De todos modos se trata de datos orientativos que deberían apoyarse en un exhaustivo parametraje como se ha comentado.

¿Qué efecto causa la fertilización fosforada?

El aumento de producción de pasto causado por la aplicación de fertilizante, es un tema sumamente controvertido. Los distintos autores en general son coincidentes en la falta de fósforo de los suelos de la zona; sin embargo los ensayos presentan respuestas muy disímiles. Así es como hay casos donde el agregado de 80 kg de superfosfato triple, aumenta más del 100 % las raciones obtenidas en el primer año, como otros donde no existe respuesta alguna en cuanto a la receptividad ganadera (Arosteguy y Gardner, 1977; Arosteguy y Darwich, 1981; Carrillo, 1981; Maddaloni *et al*, 1984; Deregibus y Soriano, 1981).

Debido a esta falta de homogeneidad, es que se parametró el efecto de la fertilización fosforada, partiendo de un aumento supuesto de sólo el 5 % en la receptividad respecto al testigo sin fósforo y con incrementos del 5 % llegar al 40 %. Los incrementos mencionados son promedios bianuales ya que se supone (y hay consenso respecto a ello) que la capacidad de fijación de fósforo de los suelos es tal, que al segundo año el aporte externo queda inmovilizado prácticamente en su totalidad.

Mediante este rango se identificaron dos puntos claves en lo que a efecto del fertilizante se refiere: por un lado se detectó que el aumento del 15 % en la receptividad promedio, elimina a la práctica de la solución óptima; evidentemente el incremento supuesto no compensa el costo en que se incurre. Por

^{1/}Parametraje: técnica que consiste en variar en forma constante y progresiva, tanto los coeficientes de la función objetivo *c_j*, los *b_i* del segundo miembro de las inecuaciones o los *a_{ij}* del cuerpo de la matriz, a fin de analizar como varían los resultados (Regúnaga, 1980).

otro lado la suba del 40 % hace que desaparezca el agropiro (pradera que por su rusticidad no se fertiliza) y sea reemplazado por festuca fertilizada, quien genera un incremento más que proporcional en el MBT.

Simultáneamente con el aumento de pasto por la fertilización, se incrementa el número de cabezas de terneros comprados en mayo, y disminuyen las de ovinos. Aparentemente el aumento de un recurso de mayor calidad como son las pasturas fertilizadas, favorece a la ganadería vacuna. No hay modificaciones en las superficies agrícolas.

¿Y si las receptividades planteadas presentan variaciones en la práctica?

De acuerdo a los resultados de la matriz base, el agropiro, tanto sobre TAM como sobre TGANVI, es la alternativa más conveniente. En este último caso, es la única posibilidad además del pastizal natural; en la primera (TAM) también existe la alternativa de utilizar festuca. Para analizar que sucedería con el agropiro si su producción de pasto estimada no coincide con la real, se parametró la receptividad propuesta, disminuyéndola en un 10 y un 20 %. Ya con la primera disminución mencionada, la actividad sobre TAM deja de aparecer y es reemplazada por la festuca fertilizada (se supone que la fertilización incrementa 30 % la receptividad). Sin embargo la superficie a implantar es más baja (98,6 ha en lugar de 107); las 8,4 ha de diferencia son destinadas a sorgo forrajero. La actividad ganadera vacuna sube el número de cabezas de 415 a 511, reduciéndose considerablemente el stock de ovinos (de 771 animales a 519). Con la disminución del 20 % no hay variación en los recursos forrajeros, pero sí en el número de animales: aumentan los terneros comprados en mayo y disminuyen en forma notoria los ovinos (que ahora se reparten en dos épocas de servicio, abril y febrero). Aparentemente cuanto mayor es el porcentaje de forraje proveniente de pasturas fertilizadas, más aumenta el número de terneros invernados, en detrimento de los ovinos que parecen ser relegados a los pastizales más económicos. En cuanto al MBT, las

variaciones son del orden del 6,5 al 10,7 %.

Con la pradera de festuca se parametró un aumento de 10 y 20 % en la receptividad. Con un 10 % de incremento, no sólo el agropiro es reemplazado por la festuca en la TAM, sino que lo mismo ocurre con el falaris en la TAB. La totalidad de la superficie está destinada a festuca fertilizada. El aumento en la producción de pasto es consumido por mayor número de vacunos de invernada (535 en lugar de 415) y menor cantidad de ovinos Romney puestos en servicio en abril (554 en lugar de 771). El aumento del 20 % es de tal dimensión, que se disminuye la superficie de maíz y de sorgo forrajero para destinarlo a pasturas. El forraje de calidad obtenido es utilizado por 609 terneros de engorde y sólo 438 Romney. Las variaciones de MBT son algo menores que en el caso de agropiro. La disminución del 10 % en la producción de pasto del falaris, hace que este recurso sea reemplazado por festuca fertilizada, disminuyendo levemente las cabezas de vacunos para invernada (409 en vez de 415) y aumentando algo los ovinos (792 vs. 771). La simultánea baja del 10 % en el falaris y la festuca no produce modificaciones en los recursos forrajeros y sólo baja levemente el número de terneros y eleva el de ovinos. La disminución del 20 % juntamente en falaris y festuca, provoca la desaparición del falaris de la solución óptima y el aumento de la superficie de agropiro sobre TAM. Como consecuencia de la menor calidad de forraje disminuyen los terneros comprados en mayo (342 en lugar de 415) y aumentan considerablemente los ovinos (986 en vez de 771).

¿La variación del porcentaje de destete supuesto, puede afectar los resultados?

En la matriz base, se postularon porcentajes de destete del 65 - 75 y 85 % para los diferentes niveles tecnológicos de las actividades propuestas: CRIAI, CRIAII y CRIAIIII respectivamente (para detalles ver Pena de Ladaga, 1990). No obstante la actividad no apareció en la solución^{1/}. Dado que los porcentajes supuestos pueden no ajustarse totalmente a la realidad, y que como todo parámetro biológico también

^{1/}Ello puede motivar la siguiente pregunta ¿por que la actividad predominante de la zona en la práctica, no aparece en la teoría? La respuesta puede estar en la falta de consideración del riesgo en el modelo (Pena de Ladaga, 1994)

está sujeto a las condiciones naturales, se efectuó un paramétraje, partiendo de los datos supuestos, y considerando aumentos porcentuales del 4%. Así se obtuvieron 5 modelos con los porcentajes de destete que figuran en el cuadro N° 2:

El incremento del 16% del último paramétraje, está ya fuera de toda realidad, tanto por los resultados de CRIAIII, que al superar el 100% estaría indicando "vacas melliceras", como por el 81% correspondiente a la CRIA I, dato no factible de lograr con el bajo nivel tecnológico que se postula en ella.

A pesar de lo exageradamente elevado de los porcentajes, la cría no apareció en la solución óptima, permaneciendo tanto la integración empresaria como el MBT absolutamente invariables.

¿Y si se eliminan alternativas?

En el modelo en estudio aplicado al campo Mangocho se bloquearon las actividades que permiten la compra de terneros fuera del establecimiento con el objeto de analizar la disminución de MBT que podría darse al aparecer en la solución la cría vacuna. Sin embargo la combinación óptima de actividades se inclinó hacia los ovinos, que en número de 1854 cabezas Corriedale y 703 cabezas Lincoln fueron quienes consumieron el recurso forrajero. Debe tenerse presente que la década de precios utilizada como dato incluyó años de muy buenos precios internacionales de la lana dado que Australia se encontraba recuperando su stock normal. También en este caso un paramétraje del precio de la lana podría aportar importante información.

Con respecto al recurso forrajero, se trata de disminuir su costo (al desarrollarse una actividad ganadera menos rentable): la pradera de agropiro

tanto sobre TAM como TAB, surge en idénticas dimensiones que en la matriz original, no así la de falaris, en cuyo lugar se deja la TAM en campo natural de buena calidad. Como alternativa para subsanar el bache invernal, se reservan algunas pocas hectáreas tanto de campo natural como de pradera y para la baja de producción de forraje estival, aparecen 20 rollos confeccionados en primavera para suministrar en verano. Este recurso es más económico que el sorgo forrajero para los ovinos; en el engorde de terneros en cambio, la eficiencia de este forraje para el engorde parece superar a los rollos. Como actividad agrícola, sigue surgiendo únicamente el maíz sobre TAB con tecnología mejorada en la máxima superficie posible de acuerdo a las limitaciones impuestas por la rotación. El MBT es sólo un 8% inferior al de la solución óptima original.

Se analizó entonces el modelo sin posibilidad de comprar terneros, ni criar ovejas a fin de forzar la entrada de la actividad cría. El recurso forrajero es muy similar al anterior caso: se praderiza con agropiro la TGANVI en su totalidad y en 164 ha en la TAM, permaneciendo la TAB en campo natural. Continúa como actividad agrícola el maíz, cuyo rastrojo es empleado por la ganadería.

La cría seleccionada es la CRIAIII (la de mejor nivel tecnológico propuesto) con 189 cabezas. Ella produce 80 terneros machos que son engordados sobre pasturas durante dos años, llegando a los 420 kg en el segundo febrero. Las hembras se engordan sobre pasturas y un pequeño porcentaje de verdeo de verano (3,2 ha), siendo el ciclo más corto, ya que se venden al año de su destete, también durante febrero. Las vacas de descarte tanto de abril (28 animales) como octubre (7,55) se engordan sobre pasturas y se venden en noviembre y febrero respectivamente.

La modificación del MBT directo es considerable, alcanzando sólo el 50% del MBT de la matriz original. Ello significaría que los productores actualmente obtienen la mitad de MBT que podrían lograr (claro está que para ello deben invertir más capital para la praderización e incurrir en mayor riesgo por el tipo de actividades).

Cuadro N°2: Porcentajes de destete parametrados

	Base	+4%	+8%	+12%	+16%
CRIA I	65	69	73	77	81
CRIA II	75	79	83	87	91
CRIA III	85	89	93	97	101

Matriz con posibilidad de comprar vacas de descarte fuera del establecimiento

En el establecimiento denominado Alicia se adicionó la posibilidad de comprar vacas de descarte para su engorde, tanto en abril como en octubre. Se trata de una actividad que puede tildarse de "especulativa" donde la ganancia está dada en su mayor parte por la variación de precio que se produce al pasar de la categoría de vacas de descarte a vacas consumo. Es por ello muy importante "saber comprar" y lograr luego una buena venta. Una mala compra en cuanto a kilage o precio puede volver a inclinar el plan óptimo hacia el engorde de terneros comprados fuera del establecimiento. Debe tenerse presente que la compra de vacas de descarte para engordar, es una actividad que involucra un mayor riesgo que la de terneros. Es coherente que a mayor riesgo corresponda también mayor ingreso.

La solución no presenta modificaciones en cuanto a la agricultura, y sólo hay pequeñas variaciones en lo que a superficie de recursos forrajeros respecta (no en cuanto a tipo de ellos). La gran variación en la solución óptima está dada por la no aparición de la compra de terneros. En su lugar los recursos forrajeros son consumidos por vacas de descarte compradas fuera del establecimiento en octubre; ellas en un 3,4 % se venden en febrero luego de haberse engordado sobre pasturas; la mayoría se engorda en primavera con el exceso de forraje, vendiéndose en diciembre (se trata de una actividad con alta rotación de capital ya que éste permanece inmovilizado por sólo 3 meses).

La actividad ganadera simultánea con el engorde de vacas, es en este caso la cría de Corriedale que aparece con una dimensión casi tres veces superior a la solución óptima en que se engordan terneros.

La compra de vacas fue también probada en Mangocho de menor porcentaje de superficie agrícola. La solución presenta una integración diferente, pues se postula como óptima la compra de 166 cabezas de terneros en mayo (un 5 % menos que en la matriz original) que son engordados sobre praderas y verdeo de verano hasta llegar a algo más de 300 kg en el mes de febrero. En lugar de comprar terneros en marzo, compra 644 vacas en octubre, que en un 99 % se engordan en primavera sobre

pradera y verdeo de verano vendiéndose a fin de diciembre. El 1 % restante continúa el proceso hasta febrero, junto con los terneros, mes que se convierte así en el de principal ingreso.

La cría de ovinos Corriedale tiene 2558 cabezas, dimensión muy considerable teniendo en cuenta las 77 cabezas de la solución óptima original.

La alimentación de esta "diversificada" actividad ganadera se lleva a cabo mediante casi la misma cantidad de pastura de agropiro sobre TAM y falaris sobre TAB y mayor cantidad sobre la TAB (205 ha versus 163 anteriores). La superficie de sorgo forrajero sobre TAM pasa de 40 ha a 56, empleándose 20 ha de su rastrojo. Se reservan praderas para subsanar el bache invernal. La variedad de alternativas ganaderas tiene su origen en los distintos requerimientos forrajeros que presentan las diferentes actividades a lo largo del año. Como actividad agrícola sigue dominando el maíz en iguales dimensiones que en la matriz original.

Modificación del mínimo de praderas requerido en la alimentación

En las actividades de engorde de vacunos, las opciones propuestas suponen diferentes ritmos de ganancia diaria, para lo cual hay que cumplimentar cierta calidad forrajera, que se asegura mediante un mínimo de praderas y/o verdeos (de verano o invierno).

En la matriz base el mínimo propuesto es del 20% del total de los requerimientos cubiertos con pastura. Pero el porcentaje, si bien surgido de la consulta bibliográfica, no es de ningún modo seguro, produciéndose variaciones por un sinnúmero de factores entre los que tiene gran peso la composición florística de los pastizales. Por ello se consideró de importancia analizar que ocurre al modificar ese mínimo desde 0 a 60 %.

El aumento del mínimo de pasturas produce un aumento en la superficie praderizada, aunque de escasa magnitud; la variación del 10 al 60 % del mínimo, sólo aumenta un 18,6 % las hectáreas de pradera sobre TAM y no hay modificaciones en la TAB, donde sigue siendo más conveniente el cultivo agrícola.

Simultáneamente con el progresivo incremento del mínimo de praderas, disminuye tanto la superficie destinada a sorgo forrajero, como la de reserva de pasturas y de rollos. Esto es debido al cambio en la integración empresaria, que disminuye a menos de la mitad la cantidad de terneros comprados fuera del establecimiento en mayo, y su lugar es ocupado por ovinos Romney, que de 300 cabezas con el mínimo al 10 %, sube a 1546 cuando ese mínimo es del 60 %.

Estos resultados son coincidentes con la realidad, donde al ganado ovino se le destinan los potreros de menor calidad dada su buena productividad aún en los mismos. Evidentemente al crecer el mínimo de pasturas para el engorde vacuno, se hace más manifiesto el hecho de transformarse en una actividad "cara" por los insumos requeridos.

La confirmación a esto se observa cuando se elimina el mínimo de praderas requerido, poniéndose en igualdad de condición a ovinos y vacunos (premisa falsa), donde en lugar de ovinos, se engordan terneras compradas fuera del establecimiento en el mes de mayo y se venden en diciembre de su segundo año de permanencia en el campo.

CAMBIOS EN LOS MARGENES BRUTOS DE LAS ACTIVIDADES (coeficientes c_i de la función objetivo)

¿Cómo afecta la estacionalidad de precios ganaderos?

El engorde de vacunos de razas británicas, permite el envío a mercado en el momento en que al productor le resulte más conveniente (a diferencia de las razas continentales que deben llegar a su peso final). Esta flexibilidad de acción fue tenida en cuenta en el modelo, que fue construido de modo tal que se permitan ventas en pesos intermedios. Ellas pueden tener lugar en cuatro momentos del año, elegidos atendiendo la variación estacional en la producción de forraje y la de precios en el mercado de Liniers para las categorías novillito, novillo y vaquillona. Debe tenerse presente que los precios de este mercado corresponden a los de menor estacionalidad, dado que ella aumenta a medida que los mismos se alejan de Buenos Aires, si bien ella no resulta estadísticamente significativa (Frank 1981; Ferrari, 1989; Frank y Hartchuh, 1993).

Los momentos de venta propuestos son: mediados de mayo, mediados de noviembre, fin de diciembre y fin de enero. La venta de mayo aprovecha el rebrote de otoño y, a pesar de estar el precio en baja, permite la posibilidad de descargar el campo antes del bache invernal. Durante el resto del período de invierno, no se proponen ventas, ya que no sólo los precios son más bajos, sino que los animales tienen un ritmo de engorde bajo -por la calidad y cantidad de forraje disponible-, resultando en consecuencia las posibles actividades de venta, alternativas dominadas.

En la venta en noviembre, se conjugan los más altos precios anuales, y la posibilidad de que los animales hayan ganado estado durante el mes de octubre, de alta producción de forraje. En la venta de fin de diciembre, con precios superiores a la media, se permite la descarga del campo antes de la disminución en la producción de forraje de verano como consecuencia de las sequías. La venta de febrero permite la salida de animales que hayan consumido alguno de los forrajes propuestos para superar el bache correspondiente.

También en los ovinos existe variación de precios a lo largo del año, si bien esta parece no acompañar tan marcadamente la curva de producción de pasto; asimismo hay una curva diferencial entre los corderos y borregos respecto a las restantes categorías. Las variaciones estacionales en algunos casos son de magnitud considerable; teniendo en cuenta esto y que al factor "precios" se le atribuye con alta frecuencia las modificaciones en cuanto a la conveniencia de actividades, se comparan aquí la integración óptima que surge para el establecimiento El Bagual al tener en cuenta dicha estacionalidad, con la opción de dejarla a un lado y considerar el precio medio de cada categoría animal, en cualquier momento del año en que se postule su venta. En recursos forrajeros disponibles, el óptimo sin estacionalidad hace disminuir en 44 las hectáreas de agropiro en TAM, 17 de las cuales se reemplazan con festuca fertilizada y las 27 restantes se dedican a sorgo forrajero. La agricultura permanece sin cambios, con 18,5 ha de maíz.

En cuanto a las actividades ganaderas que consumen el forraje, hay modificaciones en cuanto a cantidad y momentos de venta. En lugar de comprarse 157 terneros en mayo, se adquieren

512, que no se venden a los 295 kg en febrero, sino a los 335 kg en mayo (se aprovecha el rebrote pasturil de otoño y se retiran del campo en un momento donde normalmente los precios bajan por exceso de oferta en base a la falta de pasto; dado que no se considera aquí esa disminución de precio, surge mayo como fecha de venta, alternativa fuertemente dominada en la solución con estacionalidad).

El aumento del número de animales, que en una primera observación parecería muy grande, no es tal, ya que en marzo se compran 300 terneras de 155 kg (en lugar de los 278 machos) que sólo permanecen en el campo 2 meses, saliendo con sólo 175 kg; probablemente en la práctica este movimiento de hacienda generaría una ganancia que difícilmente compense el trabajo empresarial que representa la compra y venta. La actividad ovinos ha desaparecido de la integración óptima. El MBT es un 22,87 % superior al caso en que se considera la estacionalidad de precios.

Si bien la no existencia de variación de precios a lo largo del año como consecuencia de la curva de oferta forrajera, no es una situación que se presente en la realidad, lo cierto es que, desde el punto de vista estadístico, esas oscilaciones estacionales suelen no ser significativas si se estudia un cierto número de años. Ello no necesariamente significa que dichas variaciones no existen, sino que, al variar las condiciones meteorológicas los picos de producción de pasto sufren desplazamientos, y como consecuencia las modificaciones de precios también pueden verse desplazadas en el tiempo, anticipándose o retrasándose, lo que también adelanta o atrasa las variaciones de precios. Por ello el análisis de la presente situación es de interés, ya que la alteración de la estacionalidad puede modificar los momentos óptimos de venta.

CONCLUSIONES

1) No puede concebirse una matriz de Programación Lineal elaborada sin ningún defecto a partir de "información perfecta". En la etapa de preparación del modelo pueden cometerse variados e importantes errores. No existe entonces un óptimo único que pueda servir de modelo de decisión, sino que existe un conjunto de relaciones óptimas cuyo

conocimiento sirve de guía al comportamiento del empresario. El óptimo encontrado sólo es un punto de partida para la exploración sistemática de los nuevos equilibrios que aparecen cuando se modifica el valor de ciertos coeficientes c_j de la función económica, de algunos segundos miembros b_i de las ecuaciones o de los a_{ij} del cuerpo de la matriz (Cordonnier *et al.*, 1973; Hillier y Lieberman, 1982; Hazell y Norton 1986).

2) Una vez construido un modelo de Programación Lineal, la contrastación "histórica" con la realidad que describe, es absolutamente necesaria antes de utilizarlo con fines predictivos. La validación debería realizarse siempre, sobre todo en los establecimientos ganaderos, donde por falta de información ajustada a las distintas zonas en lo que se refiere a receptividad de los recursos forrajeros, normalmente se plantean muchas dudas. Los mismos especialistas en el tema nutricional (Marchegiani, 1991) han manifestado la necesidad de profundizar los estudios en esta temática; la validación del modelo de Programación Lineal contribuye a ello pues mediante la transformación de variables exógenas en endógenas estimadas, se obtiene importante información.

Con una correcta modelización, se puede entonces, por un lado obtener datos sobre receptividad de los distintos recursos forrajeros, (de importancia para quienes trabajan en producción animal) y al mismo tiempo lograr un buen modelo predictivo, factible de emplear con variados fines económicos (normativos o positivistas).

3) La Programación Lineal demuestra ser un instrumento sumamente útil para estudios no convencionales: así los agrónomos pueden evaluar mediante este tipo de modelos las consecuencias económicas de procesos no bien conocidos aún, como son el efecto sobre el suelo de los años de agricultura continuada, las modificaciones en la receptividad ganadera producidas por la fertilización, las raciones obtenidas de distintos recursos forrajeros, el mínimo de porcentaje de forraje de calidad requerido para un determinado engorde y tantos otros temas. Ello saca a los modelos de Programación Lineal del usual encasillamiento como "modelos de optimización económica", transformándolos en un útil instrumento de investigación para especialistas en áreas diversas.

BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA, A.; C. LARA, *et al.* (1979). Dos exploraciones sobre Programación lineal con riesgo en empresas agropecuarias. IICA - OEA.1
- AROSTEGUY, J; y A. GARDNER (1977). Fertilización fosforada en pasturas: dosis óptima según tipo de suelo y relación de precios en carne y fertilizantes. *Producción animal* 6 (AAPA) : 215-226.
- AROSTEGUY, J.; y N. DARWICH (1981). Respuesta de pastizales y pasturas cultivadas a la fertilización fosfatada. Ias. Jornadas de actualización técnica de pasturas. *Círculo de Ing. Agr. de Mar del Plata* : 39-51.
- BUSTAMANTE, A. (1980). Sistema impositivo y riesgo. Variaciones en modelo MOTAD. Trabajo de intensificación para optar al título de Ing. Agr. Cátedra de Administración Rural FA-UBA.
- CARRILLO, J. (1981). Implantación de pasturas en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. Ias. Jornadas de actualización técnica de pasturas. *Círculo de Ing. Agr. de Mar del Plata* : 13-36.
- COLLIA, J. (1989). Aplicación de la Programación lineal a la planificación de empresas agropecuarias en condiciones de incertidumbre. Informe final beca U.B.A. Inédito.
- CORDONNIER, P.; R. CARLES y P. MARSAL (1973). Economía de la empresa agraria. Ed. Mundi Prensa.
- DEREGIBUS, A.; SORIANO, A. (1981). Los pastizales de la zona de cría de la Depresión del Salado desde el punto de vista ecológico. *Rev. Arg. de Prod. Animal* 1 (2) : 60-83.
- DEYBE, D. (1986). Planificación de empresas agropecuarias bajo condiciones de riesgo en el partido de Saladillo. Informe mimeo.
- DEYBE, D. (1989). Politiques agricoles et érosion des sols en Argentine: une methodologie pour leur analyse. Tesis de Master of Science de l' IAM-M.
- FRANK, R.G. (1981). Variación estacional de los precios agropecuarios. Década 1960-69. Serie Cátedra de Administración Rural No. 3. F.A.U.B.A.
- FRANK, R.G. y R. HARTSCHUH (1993). Variación estacional de los precios agropecuarios. Década 1980-89. Serie Cátedra de Administración Rural No. 37. F.A.U.B.A.
- FERRARI, C. (1989). Variación estacional de los precios agropecuarios. Década 1970-79. Serie Cátedra de Administración Rural No. 26. F.A.U.B.A.
- HAZELL, P.B. and R.D. NORTON (1986). Mathematical programming for economic analysis in agriculture. Ed. Mac Millan Publishing Company. New York. 399 p.
- HILLIER, F. y G.J. LIEBERMAN (1982). Introducción a la investigación de operaciones. Ed. Mc Graw - Hill. México. 833 p.
- HOAG, A. y R. HOLLOWAY (1991). *Am. J. of Agr. Econ.* 73:184-193.
- MADDALONI, J; BERTIN y J. JOSIFOVICH (1984). Fertilización fosforada de una pastura de festuca (*Festuca arundinacea*) y su efecto sobre los animales. *Rev. Arg. Prod. Animal* 4 (4) : 399-409.
- MARCHEGANI, G. (1991). Comunicación personal.
- OSTROWSKI, B. (1994). Formulación de raciones para el ganado lechero. Serie Cátedra de Administración Rural No. 38. F.A.U.B.A.
- PENA de LADAGA, B.S. (1990). Depresión del salado: Aplicaciones de Programación Lineal. Informe Conicet. Inédito.
- PENA de LADAGA, B.S. (1991). Planificación de establecimientos agropecuarios en la Depresión del Salado. Parte I: Programación Lineal determinística. *Anales* 20 Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa.
- PENA de LADAGA, B.S. (1994). Riesgo de mercado y riesgo climático: evaluación mediante modelo MOTAD. *Anales* 23 Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa.
- REGUNAGA, M. (1980). Programación lineal. Documento de Administración Rural No. 18. F.A.U.B.A. 22 p.