# Universidad Nacional Autónoma de México

## FACULTAD DE INGENIERIA

# LA PROGRAMACION LINEAL EN EL SECTOR AGROPECUARIO

## "Planeación de Cultivos, Raciones Balanceadas"

# T E S I S

Que para obtener el título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

Presentan:


PEDRO MENDOZA ALVAREZ

MARINA RAMIREZ ENSASTIGUE


Director: M. I. RUBEN TELLEZ SANCHEZ

México, D. F. Octubre de [illegible]

CONTENIDO

# 1. INTRODUCCION

# 1. INTRODUCCION

La Ingeniería Industrial se ocupa de la planificación, el mejoramiento y la instalación de sistemas integrados por hombres, materiales, máquinas y herramientas.
Exige conocimientos especializados y una sólida formación en ciencias matemáticas, físicas y sociales, junto con los principios y los métodos del análisis y del proyecto, para especificar, predecir y evaluar los resultados que habrán de obtenerse de tales sistemas.
Los campos que con más frecuencia se consideran hoy día como subdisciplinas de la Ingeniería Industrial o relacionados con esta son la Ingeniería de Sistemas, Administración, Estadística, Investigación de Operaciones, Computación (Informática), Etc.
La utilización de la Ingeniería Industrial no se circunscribe al Sector Industrial, es suceptible de utilizarse en otros sectores tales como el Sector Agropecuario, el Sector Público, el Sector de Energéticos, Etc.
Un Sector Básico de la economía del país es el Sector Agropecuario que proporciona alimentos, materias primas, capital de inversión divisas extranjeras y mano de obra, necesarias para el desarrollo económico.

Los objetivos de esta tesis son:

- Identificar la problemática del Sector Agropecuario.
- Ilustrar la ventaja del uso de la programación lineal en la solución de problemas específicos del Sector Agropecuario.

Este trabajo se desarrolla de acuerdo a los siguientes puntos:

Descripción general del Sector Agropecuario.

- Identificación de la problemática del Sector Agropecuario Mexicano.
- Descripción general de la programación lineal.
- Ilustración de la aplicación de la programación lineal, para la solución de planeación de cultivos; optimización de beneficios en una zona mediante una combinación de cultivos económicamente factibles utilizando la técnica de programación lineal.
- Ilustración de la aplicación de la programación lineal, para la solución de raciones balanceadas en el sector pecuario.

## 2. MARCO DE REFERENCIA DEL SECTOR AGROPECUARIO

## 2. MARCO DE REFERENCIA DEL SECTOR AGROPECUARIO.

### 2.1. Situación y Problemática Mundial.

#### Situación Mundial.

Para apreciar el grado de desarrollo de la agricultura de un país, es indispensable conocer el que han alcanzado otros países con economías de diferente grado de progreso, considerando para tal fin los factores más importantes que influyen en la agricultura, como son: la población total y la población económicamente activa dedicada a la agricultura, la superficie laborable total y por habitante, la producción por habitante de cada producto básico, el rendimiento y la producción.

Para esto se ha considerado un total de cincuenta y cuatro países, que representan adecuadamente la economía agrícola mundial, aún cuando el total de los países que incluye la (FAO) en sus estudios, alcanzan un total de doscientos quince. Sin embargo, gran número de éstos últimos tienen muy poca relevancia dentro de la agricultura mundial.

Los cuadros 1, 2 y 3 muestran resúmenes de producción, superficie cosechada y rendimientos para los principales productos agrícolas y países productores a nivel mundial.

MILES DE TONELADAS

| Producto y Grupo | 1950 | 1955 | 1960 | 1965 | 1970 | 1975 | 1976 | 1977 | 1981 | 1982 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GRANOS ALIMENTICIOS BASICOS | | | | | | | | | | |
| Trigo | 143 100 | 157 500 | 245 000 | 267 369 | 318 437 | 354 748 | 418 001 | 382 845 | 447 305 | 419 895 |
| Maíz | 130 800 | 157 800 | 215 900 | 227 814 | 261 312 | 324 257 | 333 079 | 362 382 | 386 648 | 414 158 |
| Arroz | 150 900 | 199 100 | 239 800 | 256 617 | 308 767 | 359 693 | 350 365 | 370 592 | 376 448 | ....... |
| Frijol | 7 000 | 8 100 | 9 000 | 10 022 | 11 477 | 12 737 | 12 085 | 16 177 | 17 484 | 17 711 |
| Suma | 431 800 | 522 500 | 709 700 | 761 822 | 899 993 | 1 051 435 | 1113 530 | 1 131 996 | 1227 885 | ....... |
| SEMILLAS OLEAGINOSAS | | | | | | | | | | |
| Soya | 18 000 | 20 800 | 27 300 | 36 420 | 46 543 | 69 670 | 63 064 | 79 206 | 80 232 | ....... |
| Ajonjolí | 1 590 | 1 750 | 1 400 | 1 620 | 2 196 | 1 907 | 1 869 | 1 935 | 1 974 | ....... |
| Cártamo | ....... | ....... | ....... | ....... | 663 | 1 007 | 747 | 1 006 | 1 101 | ....... |
| Suma | 19 590 | 22 550 | 28 700 | 38 040 | 49 402 | 72 584 | 65 680 | 82 147 | 83 307 | ....... |
| PRODUCTOS INDUSTRIALES | | | | | | | | | | |
| Cebada | 46 100 | 69 100 | 93 000 | 106 320 | 139 551 | 150 003 | 188 020 | 177 318 | 196 123 | ....... |
| Sorgo | 26 800 | 34 590 | 30 170 | 37 679 | 44 648 | 51 167 | 64 948 | 68 508 | 69 117 | ....... |
| Suma | 72 900 | 103 690 | 123 170 | 143 999 | 184 199 | 201 170 | 252 968 | 245 826 | 265 240 | ....... |
| Suma 9 Productos | 524 290 | 648 740 | 861 570 | 943 861 | 1 133 594 | 1 325 189 | 1 432 178 | 1 459 969 | 1 576 432 | ....... |
| Otros | ------- | ------- | ------- | ------- | ------- | ------- | ------- | ------- | 2 300 559 | ....... |
| Total Mundial | ------- | ------- | ------- | ------- | ------- | ------- | ------- | ------- | 3 876 991 | ....... |

Cuadro 1.- Producción obtenida para principales productores básicos a nivel mundial.

Revista Econotecnia Nacional 1982-1984

MILES DE HECTAREAS

| Producto y Grupo | 1950 | 1955 | 1960 | 1965 | 1970 | 1975 | 1976 | 1980 | 1981 | 1982 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GRANOS ALIMENTICIOS BASICOS | | | | | | | | | | |
| Trigo | 132 300 | 134 400 | 202 300 | 219 041 | 210 432 | 228 903 | 236 489 | 225 759 | 226 419 | 226 247 |
| Arroz | 94 400 | 109 200 | 119 300 | 126 279 | 134 394 | 142 668 | 143 108 | 144 092 | 145 131 | ....... |
| Maíz | 83 400 | 94 800 | 106 000 | 99 365 | 107 224 | 113 797 | 116 577 | 123 762 | 126 919 | 128 835 |
| Frijol | 16 000 | 16 800 | 19 000 | 22 299 | 23 557 | 24 161 | 23 400 | 29 258 | 29 597 | 29 743 |
| Suma | 326 100 | 355 200 | 446 600 | 466 984 | 475 627 | 509 529 | 519 574 | 522 871 | 528 066 | ....... |
| SEMILLAS OLEAGINOSAS | | | | | | | | | | |
| Soya | 15 100 | 17 900 | 25 200 | 30 442 | 35 929 | 45 968 | 44 624 | 49 243 | 52 859 | ....... |
| Ajonjolí | 4 430 | 5 200 | 4 900 | 5 510 | 6 427 | 6 336 | 6 444 | 6 251 | 6 332 | ....... |
| Cártamo | ....... | ....... | ....... | ....... | 964 | 1 288 | 1 122 | 1 342 | 1 426 | ....... |
| Suma | | | | | | | | | | |
| PRODUCTOS INDUSTRIALES | | | | | | | | | | |
| Cebada | 38 800 | 55 000 | 62 900 | 69 896 | 78 247 | 89 034 | 93 975 | 95 564 | 94 324 | ....... |
| Sorgo | 34 100 | 47 030 | 28 350 | 38 747 | 41 743 | 43 275 | 51 735 | 51 914 | 51 911 | ....... |
| Suma | 72 900 | 102 030 | 91 250 | 108 643 | 119 990 | 132 309 | 145 710 | 147 478 | 146 235 | ....... |
| Suma 9 Productos | 418 530 | 480 330 | 567 950 | 611 579 | 638 937 | 695 430 | 717 474 | 727 185 | 734 918 | ....... |
| Otros | 207 864 | ....... | ....... | ....... | 364 978 | ....... | ....... | ....... | 330 834 | ....... |
| Total Mundial | 626 394 | ....... | ....... | ....... | 1 003 915 | ....... | ....... | ....... | 1 065 752 | ....... |

Cuadro 2.- Superficie cosechada para principales productores básicos a nivel mundial.

Revista Econotecnia Nacional 1982-1984

KILOGRAMOS POR HECTAREAS

| Producto y Grupo | 1950 | 1955 | 1960 | 1965 | 1970 | 1975 | 1976 | 1980 | 1981 | 1982 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GRANOS ALIMENTICIOS BASICOS | | | | | | | | | | |
| Maíz | 1 568 | 1 665 | 2 037 | 2 293 | 2 437 | 2 849 | 2 857 | 2 928 | 3 046 | 3 215 |
| Arroz | 1 599 | 1 823 | 2 010 | 2 032 | 2 297 | 2 521 | 2 448 | 2 572 | 2 594 | ....... |
| Trigo | 1 082 | 1 172 | 1 211 | 1 221 | 1 513 | 1 550 | 1 768 | 1 696 | 1 976 | 1 856 |
| Frijol | 438 | 482 | 474 | 449 | 487 | 527 | 516 | 553 | 591 | 595 |
| SEMILLAS OLEAGINOSAS | | | | | | | | | | |
| Soya | 1 192 | 1 162 | 1 083 | 1 196 | 1 295 | 1 516 | 1 413 | 1 608 | 1 518 | ....... |
| Cártamo | ....... | ....... | ....... | ....... | 688 | 782 | 666 | 750 | 772 | ....... |
| Ajonjolí | 359 | 337 | 286 | 294 | 342 | 301 | 290 | 310 | 312 | ....... |
| PRODUCTOS INDUSTRIALES | | | | | | | | | | |
| Cebada | 1 188 | 1 256 | 1 479 | 1 521 | 1 783 | 1 685 | 2 001 | 1 855 | 2 079 | ....... |
| Sorgo | 786 | 735 | 1 064 | 972 | 1 070 | 1 182 | 1 255 | 1 320 | 1 331 | ....... |



Cuadro 3.- Rendimiento medio para principales productores básicos a nivel mundial.

Revista Econotecnia Nacional 1982-1984

| años | producción (miles de cabezas) | exportación* (miles de cabezas) | consumo aparente (miles de cabezas) | porcentaje de exportación neta con relación al consumo | porcentaje de exportación neta con relación a la producción |
|---|---|---|---|---|---|
| 1960 | 3017 | 501 | 2516 | 19.91 | 16.60 |
| 1961 | 3317 | 692 | 2625 | 26.36 | 20.86 |
| 1962 | 3608 | 923 | 2685 | 34.37 | 25.58 |
| 1963 | 3570 | 738 | 2832 | 26.05 | 20.67 |
| 1964 | 3437 | 488 | 2949 | 16.54 | 14.19 |
| 1965 | 3819 | 687 | 3132 | 21.93 | 17.98 |
| 1966 | 3902 | 752 | 3150 | 23.87 | 19.27 |
| 1967 | 3826 | 650 | 3176 | 20.46 | 16.98 |
| 1968 | 4154 | 883 | 3271 | 26.99 | 21.25 |
| 1969 | 4580 | 1048 | 3532 | 29.67 | 22.88 |
| 1970 | 4800 | 1153 | 3647 | 31.61 | 24.02 |
| 1971 | 5211 | 958 | 4253 | 22.52 | 18.38 |
| 1972 | 6017 | 1210 | 4807 | 25.17 | 20.10 |
| 1973 | 4242 | 713 | 3529 | 20.20 | 16.80 |
| 1974 | 4081 | 446 | 3635 | 12.26 | 10.92 |
| 1975 | 4477 | 247 | 4230 | 5.83 | 5.51 |
| 1980 | 5300 | 625 | 4675 | 13.36 | 11.79 |
| 1981 | 5783 | 731 | 5052 | 14.46 | 12.64 |
| 1982 | 6407 | 1124 | 5283 | 21.27 | 17.54 |

*Exportación = exportación neta, ya que no hay importaciones. Es la exportación de ganado en pie, más carne expresada en ganado en pie.

Cuadro 4.- Ganado bovino: producción, comercio internacional y consumo aparente.

Revista Econotecnia Nacional 1982-1984

Los cuadros 4 y 5 exhiben datos sobre producción, comercio interna-
cional, consumo aparente y consumo de carne de res proyectado.

Cuadro 5.- Consumo de carne de res efectivo y proyectado en Kg.

| País | 1965 | 1975 | 1985 |
|---|---|---|---|
| Argentina | 66.8 | 78.0 | 79.4 |
| E.E.U.U. | 47.6 | 58.8 | 60.8 |
| Nueva Zelanda | 38.1 | 53.4 | 58.7 |
| Canadá | 42.6 | 48.6 | 49.0 |
| Uruguay | 91.2 | 40.0 | 40.0 |
| Paraguay | 44.5 | 34.2 | 24.8 |
| Panamá | 21.8 | 24.2 | 24.4 |
| Francia | 28.5 | 30.2 | 31.7 |
| Bélgica Luxemburgo | 23.6 | 29.5 | 33.7 |
| Suiza | 24.5 | 29.2 | 31.8 |

*Revista Econotecnia Nacional 1982-1984

Un breve análisis de los principales cultivos, es el siguiente:

GRANOS BASICOS

TRIGO

Principal grano alimenticio de la población mundial, que ocupa el primer lugar entre todos los cultivos de ciclo corto, herbáceas - pereenes y pereenes que se cultivan en el mundo.

Con base en los datos de 1982, Rusia, China y EEUU ocupan los tres principales lugares en cuanto a la producción de trigo se refiere, al obtener 90 100, 60 500 y 58 297 millones de toneladas respectivamente.

La preponderancia de éstos tres países resulta de considerar que la producción mundial registró 382 845, 447 305 y 419 895 millones de toneladas, durante 1977, 1978 y 1979 respectivamente.

De 1950 a 1982 la producción se ha incrementado en 193.4 por ciento, cantidad que significa triplicar la producción mundial para satisfacer las necesidades de alimentación de una población que se incrementó en 71.83 por ciento durante el mismo periodo.

Los cinco principales paises productores ocupan el siguiente orden: Rusia con 57 500 millones de hectáreas, China con 28 200 millones de hectáreas, Estados Unidos con 25 334 millones de hectáreas, India con 22 220 millones de hectáreas y Australia con 11 770 millones de hectáreas.

Por otro lado, los rendimientos también muestran un incremento que asciende a 71.53 por ciento al pasar 1 082 kilogramos por hectárea 1950 a 1 856 kilogramos por hectárea en 1982.

Los países que más destacan por el aumento continuo de los rendimientos son: Alemania Federal que registra 4 954 kilogramos por hectárea, lo sigue Francia con 4 777 kilogramos por hectárea y el tercer lugar es ocupado por México con 3 894 kilogramos por hectárea.

MAIZ

La producción de ésta graminea ocupa el segundo lugar en importancia en el mundo, de acuerdo con los datos de 1982 se alcanzan 414 158 millones de toneladas.

Con base en los datos de 1982, Estados Unidos ocupó el primer lugar con 197 206 millones de toneladas; en números relativos ésto representa el 47.62 por ciento del total mundial.

El segundo lugar lo ocupa China con 56 900 millones de toneladas. El tercero recae en Brasil con 19 700 millones de toneladas, el cuarto lugar es ocupado por Rumanía 12 400 millones de toneladas y el quinto lugar corresponde a Francia con 10 307 millones de toneladas.

Por su parte, México ocupó el noveno lugar con una cantidad superior a los 8 millones de toneladas.

Con base en las cifras mundiales, la producción en 1982 prácticamente se triplica al representar el 216.63 por ciento de incremento con respecto a 1950.

En 1950 se cosecharon 83 400 millones de hectáreas; en 1982 la cifra ascendió a 128 835 millones de hectáreas que incluyen un incremento del 54.48 por ciento.

Los países con más elevados rendimientos que van desde 5 576 kilogramos por hectárea hasta 2 168 kilogramos por hectárea incluyen entre otros a Canadá, Hungría, Francia, Yugoslavia, Rumanía, Rusia, Argentina, China y Sud-Africa.

ARROZ

Grano básico en la alimentación de los pueblos Asiáticos, que durante 1982, en conjunto produjeron 315 709 millones de toneladas. Esta producción, representa el 83.87 por ciento del total mundial que en el año mencionado ascendió a 376 448 millones de toneladas.

En otros continentes, la producción se origina en países como Brasil y Colombia en América del Sur; Egipto en Africa y los Estados Unidos y México en Norte América.

La producción en el mundo denota un incremento de 149.47 por ciento en 1981 con respecto a 1950, contribuyen en mayor grado a este incremento países como Indonesia, China y la India con porcentajes que corresponden a 198.77 por ciento, 182.17 por ciento y 155.45 por ciento, en su orden.

Respecto al total del mundo, el área destinada al cultivo del arroz creció en 1981 un 53.74 por ciento con relación a 1950, cantidad que influyó junto con el aumento de 62.23 por ciento de los rendimientos en un mayor abastecimiento de éste cereal.

En los rendimientos por hectárea, destaca Japón en primer lugar con

6 250 kilogramos, el segundo lugar corresponde a Egipto con 5 430 kilogramos y el tercero a Estados Unidos con 5 049 kilogramos. El quinto lugar es ocupado por China con 3 534 kilogramos y el sexto a México con 3 314 kilogramos; en tanto que Brasil registra la cantidad más reducida de 1 304 kilogramos por hectárea, entre los - quince principales países productores.

FRIJOL

Grano leguminoso, básico en la alimentación del pueblo Mexicano y en otros países del mundo.
La producción se localiza en su mayor proporción en cinco países que de acuerdo con los datos de 1982 aportaron el 73.66 por ciento del abastecimiento mundial. En 1982 ascendió a 17 711 millones de toneladas destacando en orden decreciente de importancia China con 6 930 millones de toneladas, en segundo lugar la India con 2 500 millones, en tercero Brasil con 2 130 millones, en cuarto lugar Estados Unidos con 899 millones y México en quinto lugar con 587 millones de toneladas.
Al observar el comportamiento de la producción en el tiempo, para 1982 con relación a 1950 ésta creció en 153.01 por ciento, aumento que casi triplica el abastecimiento mundial.
Para el aspecto rendimiento el primer lugar con 1 605 kilogramos - por hectárea corresponde a Estados Unidos, el segundo a China con 959 y el tercero a México con 567; el rendimiento mínimo de 278 kilogramos se registra en la India.

SEMILLAS OLEAGINOSAS

SOYA

Semilla oleagiasa que alcanzó una producción mundial del 80 232 millones de toneladas en 1981; de éstos, el 94.78 por ciento lo apor taron los siguientes cinco países, en orden decreciente tenemos en primer lugar a Estados Unidos con 50 149 millones de toneladas, que representan el 62.50 por ciento del abastecimiento total; el segundo lugar es ocupado por China con 13 257 millones de toneladas, en tercero aparece Brasil con 9 800 millones de toneladas y en cuarto Argentina con 2 500 millones de toneladas.

En 1981 la producción refleja un incremento de 62 232 millones de toneladas en comparación con 1950, tal producción representa el - 345.73 por ciento de aumento.

Los rendimientos crecieron en un 27.35 por ciento al pasar de 1192 - kilogramos por hectárea en 1950 a 1 518 kilogramos por hectárea en 1981.

AJONJOLI

La producción mundial en 1981 ascendió a 1974 000 de toneladas apor tadas en un 76.08 por ciento por siete países entre los que se encuen tra México.

El primer lugar está ocupado por la India con 489 mil toneladas, el segundo lugar le corresponde a China con 381 mil toneladas, el tercero a Sudán con 267 mil toneladas y el cuarto lugar está ocupado - por México con 134 mil toneladas, y el quinto lugar por Birmania con 111 mil toneladas.

En términos generales la producción se ha mantenido con altas-bajas a un nivel que apenas representa un incremento del 24.2 por ciento en 1981 contra 1950; el año de mayor producción fué 1970 con 2 196 millones de toneladas.

Por lo que al rendimiento medio se refiere, en términos generales no registra incremento significativo en la mayor parte de los siete países principales productores.

CARTAMO

Semilla oleaginosa cuyo cultivo aparece con mayor significación a partir del año de 1970; en México, los registros estadísticos iniciaron su concentración de datos a partir de 1960.
La producción mundial en 1981 alcanzó 1 101 mil toneladas contra 663 mil toneladas en 1970. El incremento que se observa representa un -- 66.06 por ciento.
Tres países entre los que ocupa el primer lugar México aportaron el 90.30 por ciento del total mundial y de éste el 55.95 por ciento corresponde a nuestro país.
Los rendimientos medios por hectárea se sitúan entre los 666 kilogramos como mínimo y 782 como máximo, lo que dá una idea de una variación que no es significativa.

PRODUCTOS INDUSTRIALES

CEBADA GRANO

Veinte países producen el 85.42 por ciento del total mundial de cebada grano.
Con base en 1981, los primeros lugares están ocupados por Rusia con - 62 100 millones de toneladas, le sigue China con 20 001 millones de toneladas, en tercer lugar se ubica Francia con 11 414 millones de toneladas, le sigue Canadá con 10 387 millones de toneladas y en quinto lugar aparece el Reino Unido con 9 830 millones de toneladas.
La producción de cebada en el mundo se ha cuadriplicado al pasar de 46 100 millones de toneladas en 1950 a 196 123 millones de toneladas en 1981.
Respecto a los rendimientos se puede destacar que en 1981 se incrementaron en un 75 por ciento respecto a 1950, al llegar en números absolutos a 2 079 kilogramos por hectárea en 1981 contra 1 188 kilogramos

por hectárea en 1950.

Sobrepasa las 4 toneladas por hectárea los rendimientos de la cebada en Alemania Federal, Dinamarca, Francia y el Reino Unido.

SORGO GRANO

Grano utilizado tanto en la alimentación humana como animal; en México principalmente se destina a la elaboración de alimentos pecuarios balanceados.

La producción mundial alcanzó 69 117 millones de toneladas en 1981; cantidad que incluye un incremento del 157.90 por ciento con respecto a 1950.

Los ocho principales países aportaron el 87.39 por ciento del total mundial. Ocupa el primer lugar Estados Unidos con 19 010 millones de toneladas, el segundo lugar la India con 12 000 millones de toneladas el tercer lugar por China con 11 023 millones de toneladas y el quinto lugar México con 4 188 millones de toneladas.

El incremento de la producción se debe en primer lugar al aumento de los rendimientos por hectárea que pasaron de 786 kilogramos en 1950 a 1 331 en 1981 lo que significa un aumento del 69.33 por ciento.

CARNE DE RES

Los datos por consumo de carne de res para los principales países productores son los siguientes:

En primer lugar con base en los datos de 1975 a 1982 tenemos a Argentina pasa de un consumo de 66.8 kilogramos a 78 kilogramos, en segundo lugar a Estados Unidos con 47.6 kilogramos a 58.8 kilogramos, en tercero Nueva Zelanda con 38.1 a 53.4 kilogramos, el cuarto lugar lo ocupa Canadá con 42.6 a 48.6 kilogramos, el quinto lugar lo ocupa Uru guay con 91.2 kilogramos a 40 kilogramos, y en sexto tenemos a Paraguay con 44.5 kilogramos a 34.2 kilogramos.

PROBLEMATICA MUNDIAL

El problema agropecuario, es en sí, el problema de baja productividad en la agricultura que afecta a todo el mundo y particularmente a la mayoría de los países que forman parte del bloque denominado - del Tercer Mundo o países subdesarrollados.

El orígen de éste problema se sitúa como una consecuencia de la competencia en los mercados internacionales y de la explotación de los países en vías de desarrollo, llevada a cabo por los países desarrollados.

Estos han puesto en marcha políticas de índole internacional, cuyos lineamientos tienden a agudizar en forma progresiva las contradicciones de la crisis agropecuaria que se vive en el mundo actual. Dicha crisis mundial produce a la vez, una crisis interna que abarca a la mayoría de los sectores componentes de la estructura económica de - los países subdesarrollados.

Las políticas internacionales que influyen en la crisis son:

1. Industrialización de la agricultura.
2. La nueva división internacional del trabajo.
3. Suplantación de las actividades agrícolas por otras actividades que son en su ejercicio fuentes de mayores utilidades.
4. Otro factor que influye grandemente para agudizar la crisis, ha sido la expansión de la ganadería, a costa de la agricultura, - dentro de los países desarrollados con el objeto de obtener ganado de buena calidad.
5. El problema alimentario de los países subdesarrollados no es, en primera instancia, un problema de proteínas fundamentalmente, si-

no que en primer lugar, es el de la escaséz de los alimentos básicos.

6. Control del precio de la fuerza de trabajo a través del fondo monetario internacional.
7. La producción de alimentos en las diferentes áreas del mundo aún en aumento, no domina el fantasma del hambre, y se agudiza cada vez más el problema de la nutrición derivada de la desigual distribución del abastecimiento de alimentos, entre los países, dentro de los países y entre las familias que tienen diferentes niveles de ingreso

La gravedad del problema de la alimentación mundial obliga a realizar enormes esfuerzos a todos los niveles para que no sólo se produzca lo suficiente, sino que además exista una distribución adecuada en todo el orbe para que cada ser humano disponga de los alimentos necesarios óptima que le permita su desarrollo físico y mental.(*)

(*) CARDENAS, MIGUEL. "La Ingeniería de Sistemas"
Ed. LIMUSA
México, 1978.

## 2.2 SITUACION Y PROBLEMATICA NACIONAL

### Situación Nacional.

El problema prioritario del país es el del Sector Agropecuario. Este sector se encuentra compuesto, básicamente por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), por la Secretaría de la Reforma Agraria (SRA) y por organizaciones paraestatales tales como la Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO), Fertilizantes de México (FERTIMEZ), Banco Rural (BANRURAL), etc.

Cada sector cuenta con políticas y objetivos propios, pero debe existir una comunicación intersectorial para que se origine una integración de todas las partes, cuyo principal objetivo es el desarrollo del Sector Agropecuario.

A continuación daremos a conocer la estimación de resultados correspondientes al año agrícola de 1982, considerados los ciclos otoño-invierno 1981-82 y primavera-verano 1982.

Las cifras de producción que aparecen en los cuadros 6, 7, 8, 9 y 10 se integraron con los datos proporcionados por los propios productores, a través de sus representantes en los comités directivos de los Distritos de Riego y Temporal de la República, por las comisiones municipales de programación y evaluación, encabezados por los presidentes municipales y por los grupos Sectoriales Agropecuarios de cada entidad federativa, que presiden los señores gobernadores.

COMPARATIVO DE RESULTADOS DE LOS AÑOS 1977, 1978, 1979, 1980, 1981
Y ESTIMACION 1982 (COSECHANDOSE)

| CULTIVO | 1 9 7 7 SUP. | 1 9 7 7 PROD. | 1 9 7 8 SUP. | 1 9 7 8 PROD. | 1 9 7 9 SUP. | 1 9 7 9 PROD. | 1 9 8 0 SUP. | 1 9 8 0 PROD. | 1 9 8 1 SUP. | 1 9 8 1 PROD. | 1 9 8 2 SUP. | 1 9 8 2 PROD. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TOTAL: | 12 796 867 | 19 986 568 | 12 572 757 | 21 136 305 | 10 750 142 | 18 235 497 | 12 693 702 | 23 488 645 | 14 656 416 | 28 621 994 | 11 676 397 | 25093001 |
| MAIZ | 7 374 318 | 10 023 926 | 7 183 891 | 10 909 030 | 5 915 960 | 8 751 941 | 6 955 201 | 12 383 243 | 8 150 173 | 14 765 780 | 6 271 659 | 12215310 |
| FRIJOL | 1 613 364 | 741 471 | 1 580 222 | 939 614 | 988 286 | 554 595 | 1 763 347 | 971 359 | 2 150 164 | 1 469 021 | 1 711 978 | 10930799 |
| ARROZ | 173 511 | 545 117 | 120 665 | 396 511 | 150 450 | 481 052 | 132 013 | 456 217 | 179 633 | 643 550 | 175 513 | 600071 |
| TRIGO | 708 381 | 2 453 687 | 758 841 | 2 642 808 | 599 953 | 2 272 630 | 738 523 | 2 785 209 | 861 130 | 3 198 402 | 1 013 392 | 446764 7 |
| SORGO GRANO | 1 367 807 | 4 070 557 | 1 396 558 | 4 185 059 | 1 215 897 | 3 708 372 | 1 578 629 | 4 812 427 | 1 767 258 | 6 295 667 | 1 340 072 | 4956302 |
| CEBADA G. | 247 627 | 403 940 | 296 292 | 504 598 | 259 750 | 376 420 | 329 357 | 609 697 | 274 320 | 559 180 | 281 478 | 455076 |
| ALGODON P. | 393 299 | 378 585 | 347 016 | 339 820 | 376 835 | 355 542 | 372 268 | 328 555 | 354 977 | 344 237 | 185 647 | 185081 |
| ALGODON S. | 393 299 | 595 744 | 347 016 | 534 003 | 376 835 | 577 857 | 372 268 | 537 758 | 354 977 | 530 159 | 185 647 | 26328 5 |
| SOYA | 314 190 | 507 056 | 216 440 | 333 939 | 427 657 | 719 350 | 154 784 | 311 668 | 377 778 | 771 920 | 391 120 | 67236 4 |
| AJONJOLI | 204 623 | 123 382 | 243 760 | 133 897 | 321 154 | 173 893 | 282 347 | 175 562 | 150 451 | 85 666 | 95 078 | n 446586 |
| CARTAMO | 399 747 | 521 688 | 429 072 | 556 850 | 494 200 | 619 387 | 392 233 | 445 505 | 390 532 | 371 669 | 210 660 | 2742611 |



CUADRO 6.

(3) ARTICULOS PERIODISTICOS: OVACIONES, EL HERALDO, EL SOL DE MEXICO, EL UNIVERSAL Y EL EXCELSIOR.

| PORCIENTO DE CRECIMIENTO | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1982/1977 | | 1982/1978 | | 1982/1979 | | 1982/1980 | | 1982/1981 | |
| Sup. | Prod. | Sup. | Prod. | Sup. | Prod. | Sup. | Prod. | Sup. | prod. |
| - 9 | + 26 | - 7 | + 19 | + 9 | + 38 | - 8 | + 7 | - 20 | - 12 |
| -15 | + 22 | -13 | + 12 | + 6 | + 40 | -10 | - 1 | - 23 | + 17 |
| + 6 | + 47 | + 8 | + 16 | +73 | + 97 | - 3 | +13 | - 20 | - 26 |
| + 1 | + 10 | +45 | + 51 | +17 | + 25 | +33 | +32 | - 2 | - 7 |
| +43 | + 82 | +34 | + 69 | +69 | + 97 | +37 | +60 | + 18 | + 40 |
| - 2 | + 22 | - 4 | + 18 | +10 | + 34 | -15 | + 3 | - 24 | - 21 |
| +14 | + 23 | - 5 | - 2 | + 8 | + 32 | -15 | -19 | + 3 | - 41 |
| +53 | - 51 | -47 | - 45 | -51 | - 48 | -50 | -44 | - 48 | - 46 |
| -53 | - 54 | -47 | - 49 | -51 | - 53 | -50 | -49 | - 46 | - 48 |
| +24 | + 33 | +81 | +101 | - 9 | - 7 | +153 | +116 | + 4 | - 6 |
| -54 | - 63 | -61 | - 66 | -70 | - 74 | -66 | -74 | - 37 | - 47 |
| -47 | - 47 | -51 | - 51 | -57 | - 56 | -46 | -38 | - 46 | - 26 |

CUADRO 6.

(3) ARTICULOS PERIODISTICOS: OVACIONES, EL HERALDO, EL SOL DE MEXICO, EL UNIVERSAL Y EL EXCELSIOR.

PROGRAMA Y ESTIMACION DE RESULTADOS 1982

(HECTAREAS Y TONELADAS)

| CULTIVO | PROGRAMA 1) Superficie | Producción | RESULTADOS 2) Superficie | Producción | % CREC. 2/1 Sup. | Produc. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| TOTAL: | 20 050 474 | | 15 535 611 | | - 23 | |
| CULTIVOS BASICOS Y OLEAGINOSAS | | | | | | |
| MAIZ | 8 742 596 | 15 268 207 | 6 271 659 | 12 215 330 | - 28 | - 20 |
| FRIJOL | 2 222 160 | 1 562 290 | 1 711 978 | 1 093 079 | - 23 | - 30 |
| ARROZ | 196 942 | 701 238 | 175 313 | 600 071 | - 11 | - 14 |
| TRIGO | 1 076 848 | 3 893 871 | 1 013 392 | 4 467 647 | - 6 | + 15 |
| SORGO GRANO | 1 939 019 | 6 457 763 | 1 340 072 | 4 956 302 | - 31 | - 23 |
| CEBADA GRANO | 301 548 | 564 196 | 281 478 | 495 076 | - 7 | - 12 |
| ALGODON PLUMA | (280 000) | (276 867) | (185 647) | (185 381) | - 34 | - 33 |
| ALGODON SEMILLA | 280 000 | 445 480 | 185 647 | 273 285 | - 34 | - 39 |
| SOYA | 403 463 | 756 856 | 391 120 | 672 364 | - 3 | - 11 |
| AJONJOLI | 205 322 | 122 167 | 95 078 | 45 586 | - 54 | - 63 |
| CARTAMO | 206 990 | 256 875 | 210 660 | 274 261 | + 2 | + 7 |
| SUBTOTAL | 15 574 888 | 30 028 943 | 11 676 397 | 25 093 001 | - 25 | - 16 |
| OTROS CULTIVOS | 4 475 586 | | 3 859 214 | | - 14 | |

CUADRO 7.

COMPARATIVO ENTRE LAS SUPERFICIES Y PRODUCCIONES DE LOS AÑOS AGRICOLAS 1981 Y 1982
(HECTAREAS Y TONELADAS)

| CULTIVO | 1 9 8 1 | | 1 9 8 2 | | % CREC 82/81 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Superficie | Producción | Superficie | Producción | Sup. | Produc. |
| TOTAL: | 18 576 206 | | 15 535 611 | | 16 | |
| CULTIVOS BASICOS Y OLEAGINOSAS: | | | | | | |
| MAIZ | 8 150 173 | 14 765 760 | 6 271 659 | 12 215 330 | - 23 | - 17 |
| FRIJOL | 2 150 164 | 1 469 021 | 1 711 978 | 1 093 079 | - 20 | - 26 |
| ARROZ | 179 633 | 643 550 | 175 313 | 600 071 | - 2 | - 7 |
| TRIGO | 861 130 | 3 189 402 | 1 013 392 | 4 467 647 | + 18 | + 40 |
| SORGO GRANO | 1 767 258 | 6 295 667 | 1 340 072 | 4 956 302 | - 24 | - 21 |
| CEBADA GRANO | 274 320 | 559 180 | 281 478 | 495 076 | + 3 | - 12 |
| ALGODON PLUMA | (354 977) | (344 237)* | (185 647) | (185 381)** | - 48 | - 46 |
| ALGODON SEMILLA | 354 977 | 530 159 | 185 647 | 273 285 | - 48 | - 48 |
| SOYA | 377 778 | 711 920 | 391 120 | 672 364 | + 4 | - 6 |
| AJONJOLI | 150 451 | 85 666 | 95 078 | 45 586 | - 37 | - 47 |
| CARTAMO | 390 532 | 371 669 | 210 660 | 274 261 | - 46 | - 26 |
| SUBTOTAL | 14 656 416 | 28 621 994 | 11 676 397 | 25 093 001 | - 20 | - 12 |
| OTROS CULTIVOS | 3 919 790 | | 3 859 214 | | - 2 | |

*1 583 (miles de pacas)
** 852 (miles de pacas)

CUADRO 8.

PRODUCCION PECUARIA 1981 - 1982

| PRODUCTO | PRODUCCION 1981 | PRODUCCION 1982 | DIFERENCIA CANTIDAD | % |
|---|---|---|---|---|
| CARNE DE RES EN CANAL 1/ | 1 163 535.0 | 1 232 675.0 | 69 140.0 | 5.94 |
| CARNE DE CERDO EN CANAL 1/ | 1 306 616.5 | 1 386 842.8 | 80 226.3 | 6.15 |
| CARNE DE AVES EN CANAL 1/ | 457 462.8 | 488 174.6 | 30 771.8 | 6.71 |
| LECHE 2/ | 7 150.6 | 7 366.6 | 216.0 | 3.03 |
| HUEVO 1/ | 663 759.4 | 673 715.8 | 9 956.4 | 1.50 |
| MIEL 1/ | 70 557.0 | 45 361.1 | - 25 195.9 | - 35.71 |

CUADRO 9.

INFRAESTRUCTURA AGROPECUARIA
METAS Y REALIZACIONES EN EL PERIODO 1977 - 1982

| CONCEPTO | 1977 - 1982 META | REALIZACIONES | % |
|---|---|---|---|
| Incorporación de nuevas superficies a la agricultura de riego......... | 1'000,000 | 963,000 | 96.3 |
| Rehabilitación y mejoramiento de distritos y unidades de riego (hectáreas)......................... | 1'200,000 | 1'259,000 | 104.9 |
| Apertura y reincorporación de áreas a la agricultura de temporal (hectáreas)......................... | 2'100,000 | 2'337,000 | 111.3 |
| Infraestructura para el bienestar social (Entrega en bloque $m^3$/seg.) | 32.0 | 21.0 | 65.6 |
| Infraestructura de apoyo (Edificaciones)......................... | | 452 | |

CUADRO 10.

Los resultados estimados de la producción agrícola ganadera, conduce a los siguientes aspectos relevantes del año de 1982:

La cosecha global de los diez principales cultivos, fué de 25 millones 93 mil toneladas únicamente superada por la extraordinaria producción de 1981, que fué de 28.6 millones de toneladas.

En relación con los demás años del sexenio, será mayor en 7 por ciento a la de 1980; en 38 por ciento a la de 1979; en 19 por ciento a la de 1978; y en 26 por ciento a la de 1977. Respecto a la de 1976 la cosecha de 1982 es superior en 6 millones 957 mil toneladas.

Por cultivos, la producción de oleaginosas-ajonjolí, cártamo, semilla de algodón y soya se estima en 1 millón 265 mil toneladas, inferior - en 25 por ciento a la del año precedente, debido a que durante el invierno 1981-82 tampoco se contó con lluvias para una mayor superficie de cártamo; y en el primavera-verano, el cultivo de soya se vió afectada por el huracán "Paul" en Sinaloa.

De sorgo, se estima una cosecha de 4 millones 956 mil toneladas mayor a la del año pasado en 21 por ciento. La demanda de este grano se ha incrementado notablemente en los últimos años debido al acelerado crecimiento de la porcicultura y avicultura, originando en una mayor demanda de alimentos nutritivos y por el cambio de muchos productos a consumidores en las ciudades. Los requerimientos de este grano en el presente año y la conveniencia de mantener una reserva no menor de - 750 mil toneladas, configuran la necesidad de un volumen de 8 millones de toneladas contra solo 355 mil toneladas que se requerían hace 20 - años.

De cebada se calcula una producción de 495 mil toneladas, 12 por ciento más baja que en 1981.

La cosecha de arroz palay que se está levantando asciende a 660 mil toneladas. Este volumen, sumando a la reservas disponibles en CONASUPO garantiza que la demanda nacional del año próximo estará plenamente satisfecha.

De trigo se obtendrán 163 mil toneladas, que sumados a las del ciclo invernal 1981-82, de 4 millones 305 mil toneladas, harán un total en el año agrícola de 4 millones 468 mil toneladas, suficientes para cubrir las necesidades internas, quedando un remanente de más de 550 - mil toneladas.

De frijol, en el ciclo primavera-verano se estimó que se levantaron 615 mil toneladas, que agregadas a la cosecha invernal pasada, dan - un total en el año de 1 millón 93 mil toneladas. En bodegas CONASUPO, hasta el 30 de septiembre último, se contaba con 880 mil toneladas.

De maíz, se espera cosechar 11 millones 68 mil toneladas para llegar a un total en el año de 12 millones 215 mil toneladas. Al 30 de septiembre pasado, las existencias en bodegas de CONASUPO eran de 1 millón 806 mil toneladas.

Al tomar en cuenta que de los 13 millones de toneladas en que se calcula la demanda nacional de maíz, 8 millones 859 mil son utilizadas para el consumo humano, la cosecha de 1982 es suficiente para cubrir satisfactoriamente la demanda directa de nuestra población.

Concretamente, las magníficas cosechas de 1981 y los resultados del ciclo invernal 1981-82, al integrarse a la producción del ciclo primavera-verano de este año, permiten al país mantener su propia autosuficiencia en arroz, frijol y trigo. Sólo será necesario importar maíz para restituir la reserva técnica, con la que se pueda hacer - frente a cualquier contingencia, reserva que en años de cosecha corta, como este, puede reducirse si la industria de almidones, mieles y alcoholes importan directamente sus requerimientos, librando al gobierno de esta necesidad.

Para garantizar el buen uso de este grano, que sigue siendo el alimen_ to fundamental de los mexicanos y que en el curso de los últimos 25 años se ha ampliado su consumo para usos industriales, el Sr. Presidente de la República firmó el decreto, el cual establece que el maíz y sus harinas producidas en México sean destinadas exclusivamente para el consumo humano.

A las citadas estimaciones de cosecha del presente año, se agregan las de otros productos de importancia nacional como son los llamados cultivos de exportación, las hortalizas y los frutales.

De hortalizas se espera una producción de 5 millones 804 mil toneladas mayor a la del año pasado, en 11 por ciento de este volumen se exporta alrededor del 37 por ciento, con una captación de divisas de 12 mil millones de pesos.

De las diez principales especies frutícolas se espera obtener 7 millones 598 mil toneladas, mayor a la de 1981 en 15 por ciento. El valor de las exportaciones de estos productos es de aproximadamente 100 millones de pesos.

La producción de algodón en pluma será de 852 mil pacas de las cuales se exportan 500 mil, incluídos inventarios; de café la cosecha fué de 4 millones 600 mil sacos, de los que se exportan 2 millones 700 mil, de cacao se levantaron 41 mil toneladas con una exportación de 10 mil 500 toneladas, de tabaco fueron 72 mil toneladas de las que se canalizan al exterior 21 mil toneladas.

En conjunto, la exportación de estos cuatro productos generan divisas por 43 mil millones de pesos, para hacer un total, con todas las exportaciones del sector, del orden de los 74 mil millones de pesos.

En materia agroindustrial se pusieron en marcha ocho programas de acción concertada, entre los que figuran los relativos al fomento de empresas para la elaboración de productos básicos; la creación del -

sistema de capacitación agroindustrial, el inventario nacional de - proyectos de inversión agroindustrial; la promoción de inversiones en regiones prioritarias y la instalación de plantas de procesamiento en zonas marginadas.

Un incentivo que tubo mucho que ver en el repunte de la agricultura fué la revisión periódica y el mejoramiento de los precios de garantía. El campesino no cuenta con salario fijo ni con prestaciones, su ingreso para sostener a su familia proviene del valor de sus cosechas. El servicio de asistencia técnica cobró inucitado vigor al proporcionarse ahora con 13 mil técnicos que atienden directamente una superficie de 10 millones de hectáreas, contra solo 13 500 elementos en 1976.

En la modernización del agro, mediante el uso de mejores técnicas, - han tenido una participación muy significativa los concursos presidenciales de alta productividad, en los cuales los concursantes han logrado hasta 13 toneladas de maíz por hectárea, 10.5 de trigo y 4.6 de frijol. En los concursos de este año participaron 260 mil campesinos, con una superficie de 2 millones 300 mil hectáreas.

De semillas mejoradas y maices criollos seleccionados se distribuyeron 475 mil toneladas para una superficie de 7 millones 522 mil hectáreas, 108 por ciento mayor que en 1977. De este insumo 275 mil toneladas se canalizaron por la Productora Nacional de Semilla, casi tres - veces mayor a la de hace cinco años. El resto se distribuyó a través de empresas privadas. En el transcurso de los últimos cinco años, como fruto de la investigación agrícola se entregaron a los campesinos 146 nuevas variedades de semillas de mayor rendimiento y resistencia a plagas y enfermedades, fundamentalmente de granos básicos; además se desarrolló el programa de maices criollos, en el que participaron los propios productores. Con la aplicación de esta sencilla tecnolo gía se obtienen incrementos conservadores en los rendimientos por - hectárea del 15 por ciento.

En materia pecuaria, se espera una producción de 3 millones 170 mil toneladas de carnes rojas y blancas, mayor en 6.4 por ciento a la de 1981 y en 49.7 por ciento a la de 1976. Con este volumen se cubre en lo general el abasto interno, y para evitar la especulación y regular el mercado nacional, se efectuaron algunas importaciones de estos productos.

La producción de leche se estima en 7 mil 367 millones de latas que representa un incremento del 3 por ciento respecto al año pasado y del 19.6 por ciento a la de hace seis años; en huevo, se calcula obtener 674 mil toneladas, producción similar a la de 1981 y mayor en 47 por ciento a la de 1976.

La producción de miel será de aproximadamente 45 mil toneladas, menor en 36 por ciento a la de 1981, por la baja floración registrada en el país.

En apoyo a la gandería, se distribuyeron 400 mil dosis de semen congelado; se realizaron 230 transplantes de embriones; se cangearon 3 944 sementales; se produjeron 410 mil toneladas de alimentos balanceados a través de ALBAMEX (Alimentos Balanceados de México) y 15.8 millones de dosis de vacunas y antígenos por conducto de PRONABIVE; se distribuyeron 180 mil paquetes familiares de especies menores, para hacer un total de 628 mil en el sexenio.

Los programas de infraestructura comprendieron la construcción de 5 mil 720 obras, entre las que destacan 103 presas y 70 derivadoras; con las que se incrementó la capacidad de agua para riego en casi un 16 por ciento respecto a 1976; la perforación de 5 mil 83 pozos de - riego, 62 por ciento de los cuales ya están en operación, 22 por ciento en proceso de equipamiento y el resto corresponden a perforaciones de bajo gasto hidráulico que se utilizan para usos pecuarios y domésticos; la terminación de las primeras etapas del Sistema Cutzamala y los acueductos Río Colorado-Tijuana, Guaymas-Empalme y Linares-Monterrey; además, prosiguen las obras destinadas a dotar de agua en bloque a los puertos industriales de Lázaro Cárdenas, Michoacán altamira, Tamaulipas; Coatzacoalcos, Veracrúz y Salina Cruz, Oaxaca.

Los ejidatarios, comuneros y pequeños propietarios del país volvieron este año a dar la batalla por la producción. Gracias a su esfuerzo, el producto interno bruto del sector agropecuario creció a una tasa anual promedio de 4.6 por ciento durante el periodo 1977-82, destacando la de la actividad agrícola con 7 por ciento según datos del - Banco de México y de la Secretaría de Programación y Presupuesto; estos índices superan a la meta del 4.1 por ciento fijada al sector por el plan global de desarrollo y al del crecimiento de la población, la cual en estos últimos seis años aumentó en 13 millones de mexicanos.

Entre los apoyos más importantes que recibieron este año los productores rurales, están los estímulos del Sistema Alimentario Mexicano Este sistema es una estrategia diseñada para reactivar la producción agropecuaria, se inició la reducción del subsidio a las ciudades donde aún se beneficia a sectores económicamente fuertes. Hoy se trata de apoyar al máximo a los campesinos que producen los alimentos de todos los mexicanos.

PROBLEMATICA NACIONAL

1) El año agrícola se caracterizó, al igual que en 1979, por la escaséz e irregularidad de lluvias en el ciclo primavera-verano, que afectaron severamente a las áreas de temporal. La precipitación promedio en dicho ciclo fué de sólo 506 milímetros, inferior en - 215 a la media anual del país y en 326 milímetros a la de 1981, que fué el mejor en precipitación pluvial en los últimos seis años.

La sequía se registró con mayor vigor en estados donde es frecuente su incidencia, como Querétaro, Hidalgo, Guanajuato (zona norte), -- ahora a afectado en la mayor parte de su área de temporal; Aguascalientes, San Luis Potosí, Zacatecas, Durango, Chihuahua, Coahuila y Nuevo León. También fué grave en entidades donde las lluvias tradicionalmente son normales, entre ellas Tamaulipas, Veracrúz (zona norte), Campeche, Tlaxcala, Puebla, Morelos, Guerrero, Oaxaca y algunas áreas del Estado de México.

Esta situación originó que importantes superficies preparadas oportunamente se quedarán sin sembrar por falta de humedad y se dieron casos en que, cuando hubo lluvias, muchos campesinos sembraron sin que arraíran las plantas.

Como resultado de las bajas precipitaciones, las presas del país almacenan al 30 de octubre el 52 por ciento de su capacidad útil, porcentaje que solo ha sido menor en 1957 cuando se registró un 30 por ciento. Además se presentaron heladas fuera de época en los Estados de México, Puebla, Tlaxcala e Hidalgo, que también afectaron importantes áreas de cultivo, mismas que fueron resembradas por los productores con el respaldo del programa de riesgo compartido.

En apoyo de los hombres de campo que resintieron pérdidas por estos fenómenos, se puso en marcha el"Programa de auxilio" a zonas afectadas por heladas y sequías, a través del cual se realizan modestos trabajos con mano de obra campesina, tales como: el desempiedre de terrenos, la limpia de acequias y la construcción de canales de mampostería.

Pese a que el área preparada este año ha sido la más alta en la historia del país, los factores adversos solo permitirán la siembra de 19 millones 371 mil de hectáreas, inferior en 2 por ciento a la de 1981 en cambio, rebasa a la de 1980 en 11.5 por ciento; a la de 1979 en 12.5

por ciento; a la de 1978 en 18.9 por ciento; a la de 1977 en 16.4 por ciento; y a la de 1976 en 8.5 por ciento.

3) De la superficie total señalada, 15 millones 217 mil hectáreas corresponden a granos básicos, cebada, sorgo y oleaginosas, de ésta área se cosecha 11 millones 676 mil hectáreas lo que significa que se perdieron por la sequía 3 millones 541 mil hectáreas sembradas en condiciones de temporal. Los cultivos más afectados fueron maíz, frijol y sorgo y en menor grado el arroz.

4) El país tendrá también que recurrir al exterior para complementar la demanda nacional de sorgo y oleaginosas, como lo ha venido haciendo desde hace mucho tiempo.

5) Respecto a la balanza comercial agropecuaria, es conveniente señalar que el país ha superado el agudo problema a que se enfrentó en 1981, cuando se tuvo un saldo negativo de 47 millones de pesos, pués se calcula que en éste año se logrará equilibrar ésta balanza.

6) Persisten aún muchos problemas en el agro; pero a ninguno se eludió. El gobierno hizo frente a todos con el apoyo con que fué capáz la economía de la nación. Para acortar brechas entre las formas de vida de los hombres de campo y de la ciudad, se crearon nuevas bases con el fin de lograr un equilibrio más diestro.

## 2.3 REQUERIMIENTOS A CORTO Y MEDIANO PLAZO DE ACUERDO CON EL PRONAL(4)

El alcanzar condiciones de alimentación y nutrición que permitan el pleno desarrollo de las capacidades y potencialidades de cada mexicano, no es una tarea fácil. Exige realizar esfuerzos cada vez mayores y más complejos, dados los niveles y las estructuras de producción y consumo actuales.

La crisis que experimenta la economía nacional deja sentir sus efectos sobre amplias capas de la población, especialmente en aquellas que, por su ubicación geográfica, niveles de ingreso, empleo y condiciones socioculturales, son más vulnerables en su situación alimentaria. Junto con ella, la presencia aún significativa de problemas de marginalidad y desnutrición.

Lograr los objetivos de alimentación constituyen un compromiso y un reto para toda la sociedad. Por ello, su definición clara y precisa en metas cuantitativas exige ser complementada con la estimación de los otros elementos que conforman la demanda interna total.

Las cantidades de los principales alimentos que serán requeridos por el conjunto de la sociedad mexicana en el periodo 1983-1984, que se exponen a continuación, se determinaron tomando en cuenta las condiciones económicas que se estima prevalecerán durante dicho lapso.

Con el propósito de ver el significado de las metas de producción para satisfacer los requerimientos de alimentos para consumo humano dentro de la demanda interna total, se complementaron las cuantificaciones con estimaciones de las demandas que serán generadas por las industrias no alimentarias, el consumo animal, los cambios en las reservas técnicas, las mermas y desperdicios y las necesidades de semillas.

En el país aún subsisten sectores sociales que no han alcanzado niveles satisfactorios de alimentación y nutrición. En la actualidad se estima que 40 por ciento de la población no obtiene ingresos suficien-

(4) PODER EJECUTIVO FEDERAL: "PROGRAMA NACIONAL DE ALIMENTACION" PRONAL 1983-1988.

tes para cubrir sus requerimientos alimenticios básicos. Los productos principales de la alimentación nacional son el maíz y el frijol. La cantidad de maíz que demandará la población oscilará entre un mínimo de 8.7 y un máximo de 9.1 millones de toneladas en 1984, y entre 9.2 y 9.4 millones de toneladas en 1988. En el caso de frijol, la demanda que puede esperarse en 1984 y 1988 es del orden de 1.1 y 1.2 millones de toneladas respectivamente, y prácticamente iguales en las alternativas mínima y máxima, como puede observarse en el siguiente cuadro:

DEMANDA EFECTIVA ESPERADA DE ALIMENTOS PARA CONSUMO HUMANO, 1984 Y 1988
(Miles de Toneladas)

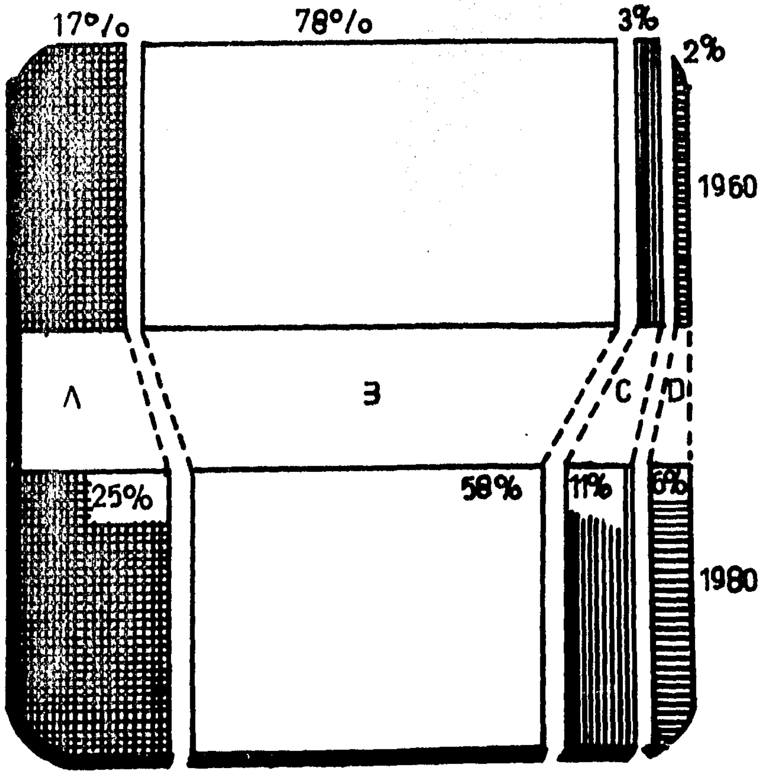
| Producto | 1984 | | 1988 | |
|---|---|---|---|---|
| | Máxima | Mínima | Máxima | Mínima |
| Maíz | 9 080 | 8 744 | 9 415 | 9 217 |
| Frijol | 1 135 | 1 130 | 1 230 | 1 205 |
| Trigo | 3 065 | 2 722 | 3 532 | 3 295 |
| Arroz | 660 | 594 | 735 | 692 |
| Aceite Vegetal | 665 | 598 | 769 | 717 |
| Azúcar | 3 319 | 3 102 | 3 729 | 3 596 |
| Carne Bovino | 1 040 | 941 | 1 227 | 1 128 |
| Carne Porcino | 710 | 656 | 855 | 777 |
| Carne Ave | 490 | 437 | 585 | 533 |
| Lácteos Totales [1] | 8 810 | 7 869 | 10 395 | 9 511 |
| Huevo | 795 | 692 | 936 | 858 |
| Pescado | 982 | 835 | 1 520 | 1 290 |

[1] Millones de litros

(5) El modelo de proyección utilizado para la determinación de los requerimientos alimenticios es el desarrollado por el proyecto de Cooperación SARH-ONU/CEPAL, México, del Centro de Estudios en Planeación Agropecuaria (CESPA), de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

DISTRIBUCION DE LA SUPERFICIE NACIONAL COSECHADA

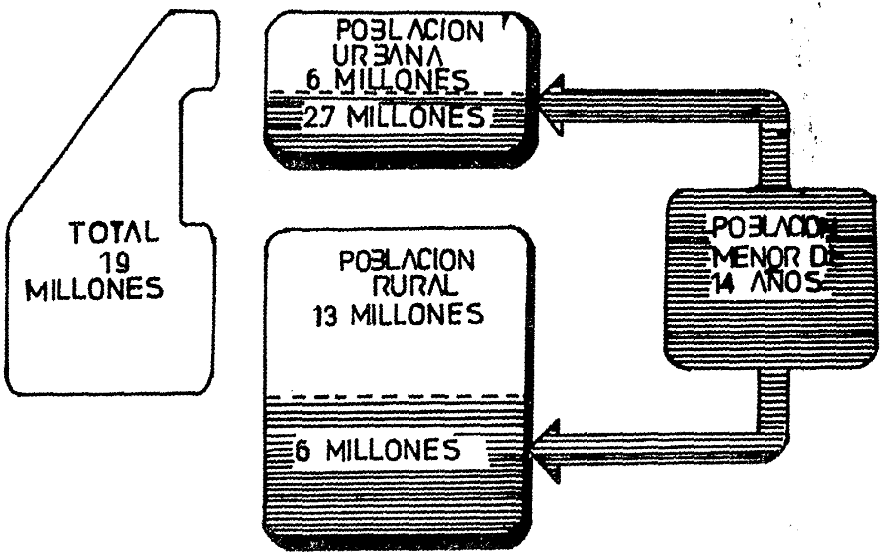
A OTROS
B GRANOS BASICOS
C FORRAJES
D OLEAGINOSAS




GRAFICA 1

PROGRAMA NACIONAL DE ALIMENTACION

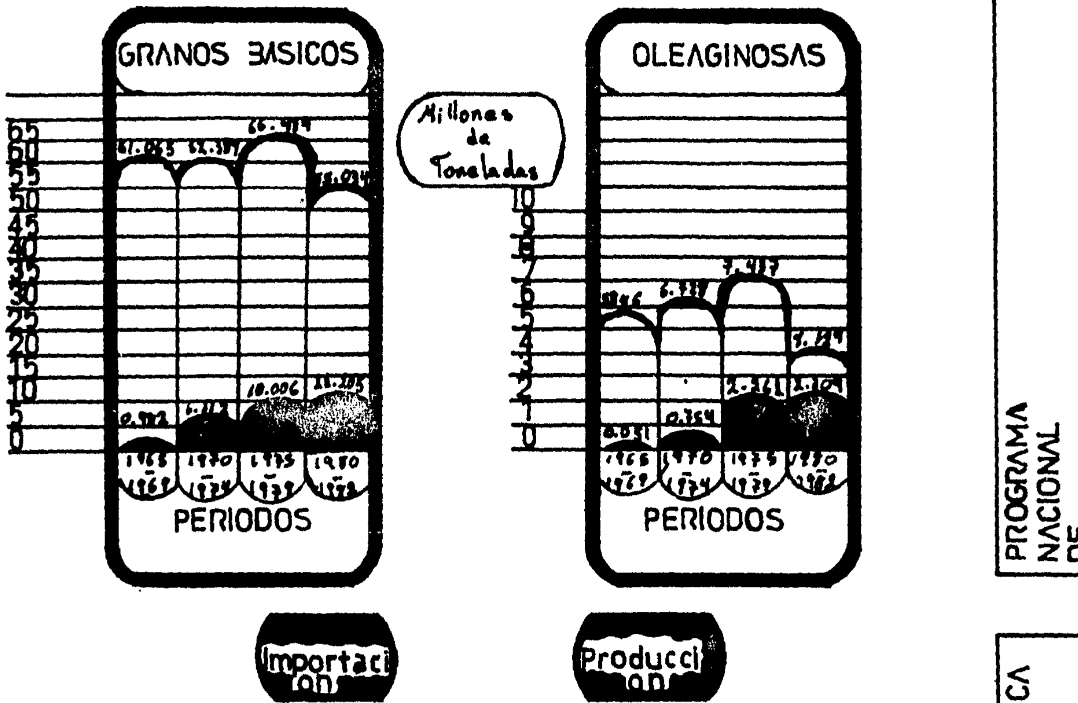
POBLACION CON DEFICIENCIAS NUTRICIONALES EN 1979




PROGRAMA
NACIONAL
DE
ALIMENTACION

GRAFICA
2

PRODUCCION E IMPORTACION DE GRANOS ALIMENTICIOS Y OLEGINOSAS




PROGRAMA NACIONAL DE ALIMENTACION

GRAFICA 3

# 3. PROGRAMACION LINEAL

# 3. PROGRAMACION LINEAL

## 3.1. Antecedentes

La versión actual de esta técnica es de origen más reciente. Hitchcock interpretó primeramente "un problema de tipo de transportación" en 1941, mientras que Koompmans estudió el mismo problema en 1947.
El útil desarrollo actual de la programación lineal para los negocios y la industria, se atribuye al Dr. George D. Dantzing, un matemático que presentó su "Método Simplex" como un procedimiento sistemático para resolver un problema de programación lineal.
Durante el año de 1947, George Dantzing (con Marshall Wood y sus asociados), se ocupó de un proyecto para la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, que dió por resultado la búsqueda de una técnica que fuera capaz de resolver los problemas de planeación militar. La asencia de esas investigaciones consiste en considerar las interrelaciones entre las actividades de una gran organización como un modelo de programación lineal, y determinar el programa de optimización minimizando una función objetivo lineal, Dantzing indicó que ese nuevo enfoque tendría amplias aplicaciones en los problemas de los negocios, como ocurre actualmente. (*)
Descripción:
La función de la programación lineal es la de distribuir recuros (ó riquezas de cualquier clase) escasos, entre diferentes actividades en competencia y el realizar esto de manera óptima.
La programación lineal se aplica donde se lleva a cabo un cierto número de actividades, pero existen limitaciones en la cantidad de recursos o en el modo de utilizarlos que nos impiden desarrollar cada actividad de la manera que se considere más efectiva. En tales situaciones queremos distribuir los recursos disponibles entre las actividades

(6) ACKOFF, RUSELL L. Y MAURICE W. SASIENI "FUNDAMENTOS DE INVESTIGACION DE OPERACIONES"

de tal forma que se optimice la efectividad total.

Con el objeto de poder llegar a una decisión óptima, todas las combinaciones posibles de distribuir los recursos a las actividades deben ser analizadas.

Existen muchos problemas de maximización o minimización, cuyo modelo matemático se puede resolver con la técnica de optimización conocida con el nombre de "Programación Lineal". Como en general se requieren muchos pasos algebraicos para resolver un problema por este método, se han desarrollado algoritmos de solución tales como el de asignación y transporte, y basados en ellos, programas de computadora digital para encontrar la solución óptima.

Los problemas de optimización que no pueden resolverse con el modelo de programación lineal, como los de programación dinámica, con frecuencia tienen que desarrollarse programas particulares para obtener la solución de problemas específicos.

El método simplex constituye la metodología matemática más conocida y empleada, para resolver problemas de programación lineal.

Muchos problemas de optimización ya tienen una estructura lineal y pueden aplicarse directamente la técnica de programación lineal para encontrar el máximo o el mínimo del problema.

Otros modelos no son lineales, se ésta no linealidad es pequeña, pueden aproximárseles por modelos lineales. Existen varias técnicas para ello, siendo la linealización y el cambio de variables dos de ellas.

Las variables que intervienen en un problema de programación lineal se conocen con el nombre genérico de "Actividades" y su valor numérico como "Nivel de Actividades"(7)

En el caso de programación lineal, las restricciones generalmente se expresan en términos de "no más que","no menos que" y "cuando más", y por lo tanto casi siempre son representadas por desigualdades o por

(7) MURRAY-LASSO M.A. y J. M. SOTOMAYOR "APLICACION DE LA COMPUTACION A LA INGENIERIA DE SISTEMAS"

un sistema de desigualdades.

La palabra lineal significa que todas las relaciones hacen intervenir las variables en el primer grado.

En términos generales, la programación lineal puede ser utilizada para problemas de optimización, en los cuales las siguientes condiciones se satisfacen:

a) Debe existir un objetivo, tal que como ganancia, que debe ser optimizado y el cual puede ser expresado como o representado por una función lineal.

b) Deben existir restricciones en la cantidad o forma de lograr el objetivo y éstas restricciones deben poder expresarse como un sistema de igualdades o desigualdades lineales.

## 3.2 MODELO MATEMATICO EN LA PROGRAMACION LINEAL

Generalmente un modelo matemático de programación lineal implica la maximización o minimización de una función lineal de un conjunto de variables no negativas, sujeta a un conjunto de desigualdades también lineales que relacionan a las variables.

El modelo matemático de un problema de programación lineal consta de las siguientes partes:

1. La Función Objetivo.- Es la expresión matemática que se desea optimizar, es decir según el problema a minimizar o maximizar. Con frecuencia, la función objetivo está dada por un costo o un beneficio medido en unidades monetarias.
2. Restricciones.- En la mayoría de los problemas existen restricciones, expresadas por un grupo de ecuaciones. Debido a restricciones en la capacidad de producción, el industrial no puede producir un número arbitrario de piezas. Estas restricciones limitan el valor que pueden tener las variables.

   Características que debe tener un problema para poder ser resuelto por programación lineal.

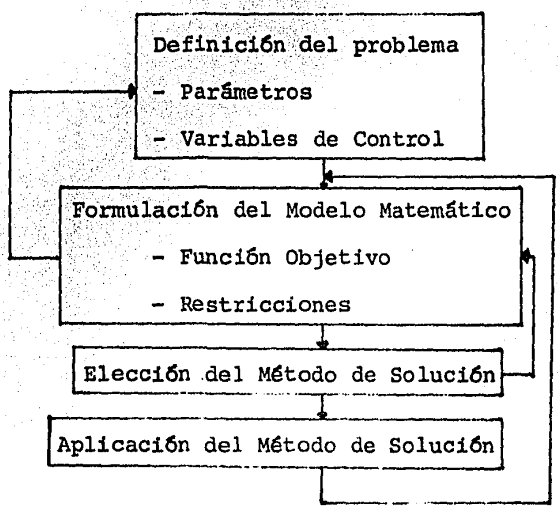
   Todo problema de programación lineal hace una serie de suposiciones con respecto al problema real, las cuales deben ser satisfechas para que nuestra solución sea representativa de la solución real. Las condiciones que siempre deben buscarse para poder aplicar programación lineal a un problema real son las siguientes:

   1) Proporcionalidad
   2) Aditividad
   3) No Negatividad.

1. Proporcionalidad.- En el modelo de programación lineal se exige que tanto la función objetivo como la utilización de los recursos sean proporcionales al nivel de la actividad.

2. Aditividad.- La aditividad presupone que la medida total de efectividad y la utilización de recursos resultantes de la operación conjunta de las actividades debe igualar las sumas respectivas de éstas cantidades resultantes de la operación individual de las actividades.
3. No Negatividad.- Mientras que cualquier múltiplo positivo de una actividad es posible, cantidades negativas para una actividad no son posibles.

Una vez que el problema ha sido definido convenientemente, el paso siguiente es formular un modelo abstracto, usualmente matemático, que presenta fielmente la estructura esencial del problema y del que fácilmente se puede lograr la solución, por medio de la aplicación de un procedimiento bién conocido.




Desde el punto de vista abstracto podemos plantear cualquier problema de programación lineal en la siguiente forma:

Maximizar $Z = C_1 X_1 - C_2 X_2 - \ldots - C_m X_m$

sujeto a las restricciones

$$a_{11}x_1 - a_{12}x_2 - \ldots - a_{1m}x_m \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 - a_{22}x_2 - \ldots - a_{2m}x_m \leq b_2 \qquad (1)$$

$$\text{-------------------------------}$$

$$a_{n1}x_1 - a_{n2}x_2 - \ldots - a_{nm}x_m \leq b_n$$

donde las C's, a's y b's son constantes reales dadas y las x's son las variables que se buscan de tal manera que se satisfagan las desigualdades y se maximice Z. Con la formulación de (1) pueden incluirse igualdades o desigualdades de la forma $\geq$, pues

$$a_{11}x_1 - a_{12}x_2 - \ldots - a_{1m}x_m = b_1$$

Puede imponerse con dos desigualdades simultáneas, a saber.

$$a_{11}x_1 - a_{12}x_2 - \ldots - a_{1m}x_m \leq b_1$$

$$-a_{11}x_1 - a_{12}x_2 - \ldots - a_{1m}x_m \leq -b_1$$

Asímismo,

$$a_{11}x_1 - a_{12}x_2 - \ldots - a_{1m}x_m \geq b_1$$

se puede escribir

$$-a_{11}x_1 - a_{12}x_2 - \ldots - a_{1m}x_m \leq -b_1$$

Por otra parte, en caso de que se desee minimizar en lugar de maximizar Z, se puede maximizar -Z, y al final cambiar de signo al valor óptimo. Los valores de las x's son los mismos para ambos problemas. No obstante que el planteamiento (1) es general, por la forma en que opera el Método Simplex, siempre convertiremos los problemas con restricciones de igualdad en los que los lados derechos serán no negativos. Para esto se introducirán dos tipos de variables adicionales llamadas "variables de holgura" y "variables artificiales".

Supongamos que el problema se plante en la siguiente forma:

Maximizar $Z = c_1x_1 - c_2x_2 - \ldots - c_mx_m$

(8) FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM "APUNTES DE INGENIERIA DE SISTEMAS"

Sujeto a las restricciones.

$$a_{11}x_1 - a_{12}x_2 - \ldots - a_{1m}x_m \leq b_1$$

---

$$a_{p1}x_1 - a_{p2}x_2 - \ldots - a_{pm}x_m \leq b_p$$

$$a_{p-1,}x_{11} - a_{p-1,2}x_2 - \ldots - a_{p-q,m}x_m = b_{p-q} \qquad (2)$$

---

$$a_{p-q,1}x_1 - a_{p-q,2}x_2 - \ldots - a_{p-q,m}x_m = b_{p-q}$$

$$a_{p-q-1,1}x_1 - a_{p-q-1,2}x_2 - \ldots - a_{p-q,m}x_m = b_{p-q}$$

$$a_{p-q-1,1}x_1 - a_{p-q-1,2}x_2 - \ldots - a_{p-q-1,m}x_m \geq b_{p-q-1}$$

---

$$a_{p-q-r,1}x_1 - a_{p-q-r,2}x_2 - \ldots - a_{p-q-r,m}x_m \geq b_{p-q-r}$$

y

$$x_1, x_2, \ldots, x_m \geq 0$$

En el planteamiento (2) hay p restricciones de "$\leq$", q restricciones de "=", y r restricciones de "$\geq$". El número de variables es m y todas ellas se suponen no negativas.

A los coeficientes $c_k$, $k = 1,2,\ldots,m$ se les llama coeficientes de - costo y a la función Z se le llama función objetivo. Suponemos que todas las b's del lado derecho son no negativas es decir $b_k \geq 0$, $k = 1, 2,\ldots,p - q - r$.

Las restricciones sobre las b's y las x's no son más que de forma, pues en caso que en un problema alguna b fuese negativa, se puede multiplicar por -1 toda la relación (cambiando el sentido de la desigualdad en caso necesario). Asímismo, si el problema requiere alguna variable que pueda ser tanto positiva como negativa, se puede expresar dicha variable como la diferencia de dos variables no negativas.

El planteamiento (2) se puede escribir en forma matricial como sigue:

$$\text{maximizar } z = c'x$$

sujeto a:

$$A_1x \leq b_1$$
$$A_2x = b_2$$
$$A_3x \geq b_3 \qquad (3)$$
$$x \geq 0$$

donde z es un escalar, c es un vector de costo de m componentes y c' su transpuesta, x es un vector de m componentes de desconocidas, $A_1$ es una matriz de constantes pxm, $A_2$ es una matriz de constantes qxm, y $A_3$ es una matríz de constantes rxm. Los vectores $b_1$, $b_2$, y $b_3$ tienen p, q y r componentes respectivamente, todas ellas no negativas. En la última relación 0 representa el vector cero de m componentes.[9]

## 3.3 TECNICAS DE SOLUCION

Se dá el nombre de técnicas de solución a los procedimientos y algoritmos diseñados para lograr la solución de los problemas de optimización.

La solución verdadera usualmente implica determinar matemáticamente los valores numéricos de las variables de control y el valor óptimo del coeficiente de mérito.

Generalmente, por necesidades didácticas, los métodos de optimización, se dividen en dos categorías mayores:

1) Métodos Directos y
2) Métodos Indirectos.

En los métodos directos, la solución óptima se obtiene con el cálculo directo de los valores de la función objetivo en diferentes puntos del dominio de factivilidad; los valores obtenidos se comparan luego

(9) OB. CITADA. MURRAY. LASSO.

utilizando un criterio auxiliar, se analiza un nuevo punto con la esperanza de mejorar el valor de la función objetivo.

En los métodos indirectos, se busca un conjunto de valores de las variables de control que satisfagan a las necesarias y suficientes condiciones de optimidad conocidas. Los métodos clásicos del cálculo diferencial, son un ejemplo del tipo indirecto: ciertamente, primero se calculan los valores de las variables que anulan a las primeras derivadas parciales de la función objetivo, siempre y cuando la continuidad de la función y la existencia de las derivadas se halle garantizada en el dominio de interés; en esta forma, el problema de optimizar se transforma en otro de calcular las raices de una ecuación.

El algoritmo Simplex, de programación lineal utiliza tanto el método directo como el indirecto, en efecto, realiza una investigación directa en el conjunto de los puntos extremos del dominio de factivilidad y únicamente en ellos porque son los que satisfacen las condiciones necesarias para la optimidad, en esta forma la función objetivo puede ser por lo menos tan buena como en el paso anterior. Finalmente, se detecta el óptimo entre el conjunto depuntos extremos, cuando se satisface el criterio indirecto de factivilidad de la solución complementaria al problema dual.[10]

El arreglo Simplex

Para aplicar el Método Simplex, el primer paso es convertir el sistema con restricciones de desigualdad en un sistema con puras restricciones de igualdad. Por ejemplo, una restricción como:

$$5x_1 - x_2 \leq 5$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

se puede convertir en la siguiente restricción:

(10) VICTOR GEREZ. "INTRODUCCION AL ANALISIS DE SISTEMAS E INVESTIGACION DE OPERACIONES".

$$5x_1 - x_2 - x_3 = 5$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

donde hemos introducido una variable adicional $x_3$ llamada "variable de holgura" que puede adoptar cualquier valor no negativo.

Para las desigualdades "$\geq$", además de la correspondiente variable de holgura se acostumbra introducir una variable adicional llamada "variable artificial" cuyo valor al final del problema -cuando éste tiene solución- debe ser nulo para que no afecte al mismo.

Cuando se introducen las variables adicionales, el planteamiento en forma matricial es

$$\text{Maximizar } z = \begin{bmatrix} c' & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix}$$

sujeto a:

$$\begin{bmatrix} A_1 & I_1 & 0 & 0 & 0 \\ A_2 & 0 & I_2 & 0 & 0 \\ A_3 & 0 & 0 & -I_3 & I_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \qquad (4)$$

donde hemos introducido los siguientes vectores:

$x_1$ de m componentes es el vector original de desconocidas; $x_2$ de p componentes es el vector de variables de holgura de las desigualdades "$\leq$"; $x_3$ de q componentes es el vector de variables artificiales de las restricciones de igualdad; $x_4$ de r componentes es el vector de variables de holgura de las desigualdades "$\geq$"; $x_5$ de r componentes es el vector de variables artificiales para desigualdades "$\geq$". Las matrices $A_1$, $A_2$

y $A_3$ y los vectores $b_1$, $b_2$, $b_3$ son los mismos de la formulación (3). Para el cálculo de z se han introducido componentes cero adicionales (p-q-2-r de ellas) al vector de costos. Las matrices $I_1$, $I_2$ e $I_3$ son matrices unitarias de órdenes p, q y r respectivamente. Las matrices marcadas con 0 son matrices cero de órdenes adecuados.

La aplicación del método simplex comienza por formar el arreglo simplex en la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} A_1 & I_1 & 0 & 0 & 0 & b_1 \\ A_2 & 0 & I_2 & 0 & 0 & b_2 \\ A_3 & 0 & 0 & -I_3 & I_3 & b_3 \\ -c' & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & u_1' & 0 & u'_2 & 0 \end{bmatrix} \qquad (5)$$

donde $u_1$ y $u_2$ son vectores con q y r componentes respectivamente, todas con valor uno y $u_1'$ y $u_2'$ son sus transpuestas. C es un vector de costo de m componentes y c' su transpuesta. Los símbolos 0 de las dos últimas filas representan filas de ceros de dimensiones adecuadas.

Una vez que se tiene el arreglo simplex se aplica el siguiente algoritmo:

FASE A.

I. Haciendo pivote en los elementos de la diagonal principal de la matríz $I_3$ (e $I_2$ cuando existe) de la forma (5) se eliminan, usando la reducción de Gauss Jordan, los unos de los $u_2'$ (y $u_1'$ cuando existe).

II. Escogiendo cualquier columna (excepto la última) que en la última fila tenga un número negativo, se busca en dicha columna un elemento positivo en una fila tal que el elemento de la última columna dividida por dicho elemento sea mínimo. Este elemento lo tenemos como pivote para aplicar la reducción de Gauss-Jordan.

Las soluciones que se obtendrían borrando las dos últimas filas y todas las columnas no unitarias dejando una matríz unidad permutada por filas, interpretando la última columna como el lado derecho de un conjunto de ecuaciones en p-q-r incógnitas, se llaman "soluciones básicas".

Las variables que no corresponden a las columnas unitarias llamadas "variables no básicas" toman el valor cero.

En cada aplicación del paso II cambiamos una sola de las variables básicas por una de las no básicas de manera tal que la función objetivo aumenta.

III. El paso II se repite hasta que el elemento en la última fila y columna sea cero y que se pueda extraer una matríz unidad de orden p-q-r (intercambiando columna si es necesario) del arreglo en que se excluyen las últimas dos filas, la última columna y todas las columnas que corresponden a las variables artificiales.

IV. Logrado el cero en el elemento de la esquina inferior derecha y satisfaciendo la condición de la matríz unitaria mencionada, se elimina la última fila y todas las columnas de las variables artificiales, con lo que estamos listos para pasar a la fase B.

FASE B.

I. Con el nuevo arreglo se aplica la misma regla llamada II en la Fase A, excepto que ahora la última fila es lo que antes era la penúltima.

II. Se vuelve a aplicar la regla I de la Fase B hasta que todos los elementos en la última fila sean no negativas, o hasta que un elemento negativo en la última fila no tenga ningún elemento positivo en su columna.

La interpretación del resultado final es el siguiente:

III. El valor máximo de z es el número que aparece en la esquina inferior derecha. El punto al que corresponde dicho máximo es la solución básica correspondiente.

Hay dos formas como puede terminar el algoritmo prematuramente:

a) Al encontrar en la Fase B una columan cuyo último elemento sea negativo no existe ningún elemento positivo en la columna.

b) En la Fase A, antes de eliminar la última fila del arreglo original puede suceder que no haya ningún elemento negativo en la última fila y que el elemento inferior derecho no sea cero. En este caso no se puede eliminar alguna variable artificial debido a que las restriciiones son contradictorias y no existen puntos que las satisfagan simultáneamente. El problema no tiene solución.

EL PROBLEMA DUAL. (11)

Asociado con un problema de programación lineal expresado en la forma

$$\text{Máx. } c'x$$

$$\text{sujeto a: } Ax \leq b$$

$$x \geq 0$$

existe un problema llamado dual

$$\text{Min. } b'w$$

$$\text{sujeto a: } A'w \leq c$$

$$w \geq 0$$

Al primer problema se le llama "Primal", cuando al segundo se le llama "Dual". (Aunque, por ser simétrica la relación entre los problemas se pueden intercambiar los nombres).

Cuando ambos problemas tienen solución factible se tiene

$$\text{Max. } c'x = \text{Min. } b'w$$

Las variables $w_1$ del vector w tienen interpretaciones económicas muy útiles. Cuando las componentes del vector b en el problema primal son recursos escasos y se tratan de maximizar beneficios o utilidades, - los valores óptimos de $w_1$ sepueden interpretar como precios marginales

(11) OBRA CITADA. MURRAY-LASSO.

o de sombra, es decir, lo que aumentaron las utilidades o beneficios por una unidad adicional del recurso escaso limitante del óptimo, bajo la suposición que no pasará a limitar el óptimo otro recurso escaso.

El problema dual es muy útil para hacer análisis de sensitividad y para metrizar las soluciones del problema primal cuando se hacen variar las componentes de los vectores c o b.

A cada relación del problema primal le corresponde una variable en el problema dual (y viceversa). Si la relación es $\leq$ o $\geq$, la variable dual debe ser no negativa.

Si el problema primal tiene relaciones de igualdad, también en el problema dual le corresponde una variable, excepto que dicha variable no está restringida en signo.

El algoritmo Simplex, al mismo tiempo que resuelve el problema primal, también resuelve el problema dual. Los valores óptimos de las variables duales correspondientes a las relaciones $\leq$ o $\geq$ aparecen en la última fila del arreglo Simplex final en las columnas correspondientes a las variables de holgura primales de dichas relaciones; los valores óptimos de las variables duales correspondientes a las igualdades aparecen en las columnas correspondientes a las variables artificiales primales de las relaciones de igualdad.[&]

& Si se desean los valores finales de las variables duales, no deben eliminarse las columnas de las variables artificiales de las igualdades en la Fase B del método Simplex, no obstante que se les impida entrar a la base en el proceso.

Para explicar el Método Simplex será conveniente hacerlo a través de - un ejemplo numérico sencillo, de otro modo la notación se hará demasiado abstracta y complicada.

Supóngase que se tiene el siguiente problema:

$$\text{Max } z = 2x_1 - 3x_2$$

$$\begin{aligned} \text{sujeto a} \quad 2x_1 - x_2 &\leq 4 \\ x_2 &\leq 2 \\ x_1 - x_2 &\geq 1 \\ x_1, \ x_2 &\geq 0 \end{aligned}$$

Para transformar las condiciones de desigualdad en igualdad agregamos variables de holgura $x_3$, $x_4$, $x_5$. Además agregamos una variable artificial $x_6$ a la desigualdad " $\geq$ " obteniendo:

$$\text{Max } z = 2x_1 - 3x_2$$

$$\begin{aligned} \text{sujeto a} \quad 2x_1 - x_2 - x_3 \qquad\qquad &= 4 \\ x_2 - \quad x_4 \qquad &= 2 \\ x_1 - x_2 - \qquad x_5 - x_6 &= 1 \\ x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0; \ x_6 &= 0 \end{aligned}$$

que se puede escribir en forma matricial como sigue:

$$\left[\begin{array}{cc|cc|c|c} 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ \hline 1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{array}\right] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

y $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 \geq 0 \quad ; \quad x_6 = 0$

El arreglo Simplex correspondiente es:

$$\left[\begin{array}{cc|cc|c|c|c} 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 \\ \hline 1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \\ \hline -2 & -3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{array}\right]$$

Una vez que se tiene el arreglo Simplex se aplica la Fase A.

Paso I.

$$\left[\begin{array}{rrrrrrr}
2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 4 \\
0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 \\
\hline
1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \\
\hline
-2 & -3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
\hline
-1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1
\end{array}\right]$$

Hemos marcado con un círculo el elemento que se usó como pivote.

En seguida se aplica el paso número II de la Fase A.

Paso II.

Escogemos una columna (excepto la última) cuyo último elemento sea negativo. Generalmente se acostumbra escoger la columna correspondiente al más negativo de todos. En caso de empate se puede tomar el que esté más a la izquierda. En seguida comparamos los cocientes de los números de la última columna divididos por los números positivos en dicha columna. Es decir, comparamos 4/2 y 1/1 escogiendo el menor de ellos. El pivote será el elemento de valor 1 que está en la posición 3, 1. Utilizando dicho elemento como pivote para hacer la reducción de Gauss-Jordan, obtenemos el siguiente arreglo.

$$\left[\begin{array}{rrrrrrr}
0 & -1 & 1 & 0 & 2 & -2 & 2 \\
0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 \\
\hline
1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \\
0 & -1 & 0 & 0 & -2 & 2 & 2 \\
\hline
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0
\end{array}\right]$$

Nótese que cada vez que aplicamos la reducción de Gauss-Jordan y convertimos la columna correspondiente al pivote en una columna unitaria, otra columna unitaria cuyo elemento unitario queda en la misma fila que el nuevo pivote deja de ser unitaria.

Aplicando ahora la Fase B.

Paso I. Aplicando el paso II de la Fase A.

$$\left[\begin{array}{cccccc} 0 & -1 & 1 & 0 & 2 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 2 \\ \hline 1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ \hline 0 & -1 & 0 & 0 & -2 & 2 \end{array}\right]$$

(nótese que se eliminó la última fila y la sexta columna correspondiente a la variable artificial $x_6$). Podemos escoger la 5a. columna cuyo último elemento es -2 para buscar un pivote. El único elemento positivo en dicha columna es el primero con valor 2, por lo que lo tomamos como pivote para aplicar la reducción de Gauss-Jordan. El resultado es el siguiente arreglo (en el que aparece marcado con un círculo el elemento que se utilizó como pivote):

$$\left[\begin{array}{cccccc} 0 & -1/2 & 1/2 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 2 \\ \hline 0 & 1/2 & 1/2 & 0 & 0 & 2 \\ \hline 0 & -2 & 1 & 0 & 0 & 4 \end{array}\right]$$

Paso II.

Al volver a aplicar el paso I de la Fase B, escogemos la columna 2 cuyo último elemento es -2 y comparamos los cocientes 2/1 y 2/(1/2) tomando el mínimo. El pivote será el elemento en la posición2,2. Aplicando - la reducción de Gauss-Jordan obtenemos el siguiente arreglo (en el que aparece marcado con un círculo el elemento que se utilizó como pivote).

$$\left[\begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 1/2 & 1/2 & 1 & 2 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 2 \\ \hline 1 & 0 & 1/2 & -1/2 & 0 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 2 & 0 & 8 \end{array}\right]$$

Como ya no hay ningún elemento negativo en la última fila, el algoritmo ha terminado. La interpretación del resultado final es la siguiente:

PASO III.

El valor máximo de z es 8. El punto al que corresponde dicho máximo es para las variables básicas: $x_5 = 2$, $x_2 = 2$, $x_1 = 1$ y las demás variables no básicas se hacen cero; o sea, el vector solución es:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 0 \\ 0 \\ 2 \end{bmatrix}$$

Problema dual.

Para el problema que venimos resolviendo, se puede escribir:

$$\text{Max } z = 2x_1 - 3x_2$$

$$\begin{aligned} \text{sujeto a;} \quad & 2x_1 - x_2 \leq 4 \\ & 0x_1 - x_2 \leq 2 \\ & -x_1 - x_2 \leq -1 \\ & x_1, x_2 \geq 0 \end{aligned}$$

el problema dual correspondiente es:

$$\text{Min } v = 4w_1 - 2w_2 - w_3$$

$$\begin{aligned} \text{sujeto a:} \quad & 2w_1 - 0w_2 - w_3 \geq 2 \\ & w_1 - w_2 - w_3 \geq 3 \\ & w_1, w_2, w_3 \geq 0 \end{aligned}$$

De la última fila del arreglo Simplex final del problema primal obtenemos

$$\begin{bmatrix} w_1 & w_2 & w_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 \end{bmatrix}$$

Podemos verificar que $b' \, w = c' \, x = 4 \times 1 \neq 2x2 - 1x0 = 2x1 - 3x2 = 8$

Para clarificar el significado de las w's como precios marginales notamos que si hacemos aumentos suficientemente pequeños en uno de los lados derechos de las desigualdades sin que conviertan en limitantes otras desigualdades, la función objetivo aumentará en una cantidad igual a la $w_1$ correspondiente por unidad de aumento en el lado derecho. Así, por ejemplo, si aumentásemos a 2 = E, el lado derecho de la segunda desigualdad, podríamos lograr un aumento en la función objetivo igual a $w_2 = 2$, siempre que no sea demasiado grande.

INTERPRETACION GEOMETRICA.

Para problemas de dos variables como el que hemos resuelto se puede dar una ilustración geométrica que ayuda mucho a entender lo que sucede.

En la figura 1, se muestran los lugares geométricos de nuestro problema, en la cual se han marcado las rectas $2x_1 - x_2 = 4$, $x_2 = 2$ y $x_1 - x_2 = 1$ y se han indicado por medio de flechas las regiones hacia donde se satisfacen las desigualdades $2x_1 - x_2 \leq 4$, $x_2 \leq 2$, $x_1 - x_2 \geq 1$, $x_1 \geq 0$, $x_2 \geq 0$.

La función lineal que se va a minizar $2x_1 - 3x_2$ está dibujada para 5 valores: 2, 3, 4, 6 y 8. Notamos que el punto dentro de la región factible (región que satisface simultáneamente todas las restricciones) que maximiza la función objetivo $z = 2x_1 - 3x_2$ es el punto $x_1 = 1$, $x_2 = 2$ en el cual la función objetivo vale

$$z = 2x_1 - 3x_2 = 2(1) - 3(2) = 8$$

Esto coincide con el valor obtenido analíticamente.

Se debe anotar que las regiones definidas por desigualdades en dos dimensiones son semiplanos (en más dimensiones serán semiespacios) y que varias de ellas simultáneas definen un polígono convexo. (Un polígono convexo es tal que todos los puntos sobre la línea que une cualquier par de puntos dentro del polígono están en el polígono). En más dimensiones se hablará de poliedros convexos.

Cuando la función a maximizar es lineal el óptimo siempre está en una de las esquinas del polígono, y nunca hay necesidad de buscar en el in terior o en las aristas.

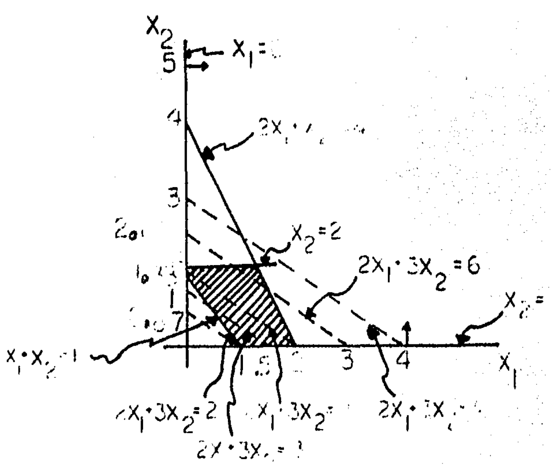
Finalmente, también es posible que las restricciones sean tales que la región factible no exista, en cuyo caso el problema no tiene solución. Por ejemplo, si en el ejemplo numérico que resolvimos volteásemos los sentidos de las desigualdades tendríamos:

$$
\begin{array}{ll}
\text{Max } z = 2x_1 - 3x_2 & \\
\text{sujeto a} \quad 2x_1 - x_2 \geq 4 & \\
\qquad\qquad\qquad x_2 \geq 2 & \\
\qquad\qquad x_1 - x_2 \leq 1 & \\
\qquad\qquad x_1 \, , \; x_2 \geq 0 &
\end{array}
$$

En la figura 2 mostramos en la forma que lo hicimos en la figura 1, las regiones representadas por cada desigualdad.

Veamos que en la figura 2 no existe ningún punto que satisfaga simultáneamente todas las desigualdades, por lo que la región factible está vacía. Este es el caso en que en la fase A no es posible llegar a su término y pasar a la fase B por desaparecer los términos negativos en la última fila antes de que el elemento inferior derecho sea cero y se puedan eliminar las variables artificiales de la base.

FIGURA I



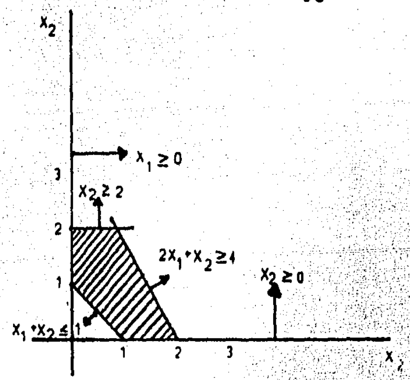



FIGURA 2

Aprovecharemos la interpretación geométrica dada para clarificar el significado de las variables duales.

El problema primal se indicó anteriormente, cuya solución óptima está en el punto $x_1 = 1$, $x_2 = 2$ y vale $z = 2x_1 - 3x_2 = 8$, aumentásemos el lado derecho de la segunda desigualdad en C, la función objetivo z aumentará en 2 C (siendo 2 el valor de $w_2$, segunda componente en el vector óptimo del problema dual).

El problema dual que también se indicó anteriormente, tiene una región tridimensional (que no se exhibirá), la cual no cambia al cambiar la función objetivo. Si el cambio de 2 a 2 - C en el vector del lado derecho del primal 4 2 -1 ' no varía demasiado la inclinación del plano objetivo $4w_1 - 2w_2 - w_3$, en el problema dual como para que la esquina (solución básica factible) óptima deje de serlo, la nueva función objetivo del problema dual será $4w_1 - (2 - C)\ w_2 - w_3$ que difiere de la anterior en $w_2C$, como se indicó.

Verifiquemos lo anterior escogiendo C = 1 y haciendo el cambio necesario en la figura 1. La nueva región factible del primal se muestra en la figura 3.

En la figura 3 se muestra la antigua frontera $x_2 = 2$ (línea horizontal punteada) la cual se ha desplazado una unidad hacia arriba debido al aumento de una unidad en el lado derecho de la segunda desigualdad en el problema primal original (es decir, la desigualdad $0x_1 - x_2 \leq 2$ se ha convertido en $0x_1 - x_2 \leq 3$). La línea óptima $2x_1 - 3x_2 = 8$ del problema original ya no toca a la región factible en una esquina. Ahora es posible encontrar un punto en dicha región que pertenezca a la función $2x_1 - 3x_2 = 10$, por lo que el valor óptimo de la función objetivo aumentó en 2 unidades como se había predicho.

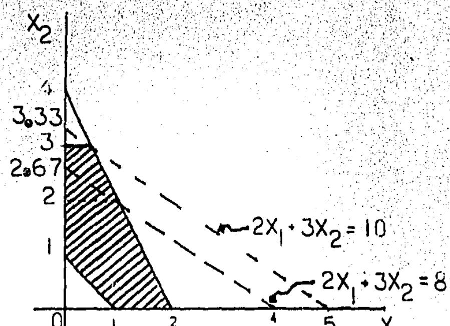



FIGURA 3

## 3.4 PROGRAMA PARA RESOLVER PROBLEMAS DE PROGRAMACION LINEAL.

A continuación mostramos el listado de un programa para resolver problemas de programación lineal. (El programa es una adaptación de un programa de biblioteca de Tiempo Compartido, S. A.).

El programa está en basic y se basa en el Método de 2 fases.

Ejemplo: Aplicación a la planeación de producción.

Los fabricantes tienen el problema de determinar su programación de producción para varias semanas o meses en condiciones de demanda fluctuante pero con algunas órdenes con compromisos de entrega en fechas determinadas y con predicciones de ventas hechas por su departamento de mercadotecnia. En algunos casos las órdenes y fechas de entrega son tales que saturan la fábrica y sólo hay una alternativa de producción. Sin ebargo, generalmente se presentan periodos de poca actividad en los cuales el fabricante puede adelantar para producir artículos que puede almacenar para cubrir entregas futuras y ahorrar en costos de producción al fabricar en grandes volúmenes sin interrupción. La cantidad que se debe producir depende de la demanda futura, de los ahorros por producción en volumen y de los costos de almacenaje de los artículos producidos. El problema matemático es minimizar la suma de costos tanto de producción como de almacenaje sin retrasos en sus compromisos de entregas.

Sean:

a = costo de la unidad de aumento en producción.

b = costo de almacenamiento de una unidad durante un mes.

$X_t$ = la producción durante el mes t.

$r_t$ = los requerimientos en el mes t.

$Y_t$ = aumento en producción en el mes t.

$Z_t$ = disminución en producción en el mes t.

$S_t$ = lo almacenado en el mes t.

Entónces el modelo de programación lineal es:

Minimizar $a \sum_t Y_t - b \sum_t S_t$

Sujeto a

$$X_t - S_{t-1} - S_t = r_t$$

$$X_t - X_{t-1} - Y_t - Z_t = 0$$

$$X_t, S_t, Y_t, Z_t \geq 0$$

para t = 1, 2, ..., n

donde n es el número de meses para los cuales se está programando la producción.

La función objetivo representa el costo adicional de producción por no producir ininterrumpidamente, más el costo de almacenamiento por no producir en el momento necesario. La primera igualdad en las restricciones nos indica que debemos cumplir los compromisos de entregas cada mes ya sea produciéndolos el mismo mes o sacándolos del almacén (y por lo tanto habiéndolos producido antes). La segunda igualdad nos define las variables $Y_t$ y $Z_t$ diciendo que la diferencia entre las producciones de meses consecutivos son los aumentos o disminuciones de producción. Todas las variables deben ser no-negativas puesto que no tendrá, por ejemplo, ningún sentido hablar de producción o demanda negativa durante un mes.

Supongamos que:

$a = 30$, $b = 1.5$ y que se quiere planear la producción para los siguientes 4 meses (es decir $n = 4$). Además supongamos que los requerimientos para los finales de los meses son:

$$r_1 = 300, \quad r_2 = 1500, \quad r_3 = 4000 \text{ y } r_4 = 10.$$

Además supongamos que inicialemtne no se tiene nada en almacén (es decir $S_o = 0$) y que no se está produciendo nada (es decir $X_o = 0$). Desarrollando las ecuaciones del modelo para $t = 1, 2, 3, 4$ tendríamos en forma matricial las siguientes matrices y vectores de la formalación (3)

$$c' = [30,30,30,30,1.5,1.5,1.5,1.5,0,0,0,0,0,0,0,0]$$

$A_1$ y $A_3$ no existen.

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$b_1$ y $b_3$ no existen

$b_2' = [300,1500,4000,10,0,0,0,0]$

$x' = [Y_1,Y_2,Y_3,Y_4,S_1,S_2,S_3,S_4,X_1,X_2,X_3,X_4,Z_1,Z_2,Z_3,Z_4]$

De la impresión de resultados vemos que (llamaremos $H_i$ a las variables del vector solución para evitar confusión con las $X_i$ que representan - las producciones durante los meses $i = 1,2,3,4$)

$H_1 = Y_1 = 1933.33$

$H_5 = S_1 = 1633.333$, $H_6 = S_2 = 2066.667$, $H_9 = X_1 = X_{10} = X_2 = H_{11}$ $= X_3 = 1933.33$, $H_{12} = X_4 = 10$, $H_{16} = Z_4 = 1923.333$.

La interpretación de los resultados es la siguiente:

Arrancamos con producción nula $X_o = 0$ y el almacén vacío $S_o = 0$

En el primer mes aumentamos la producción de cero a 1933.33 unidades por mes. Esta producción la mantenemos constante a este valor hasta el cuarto mes en que la bajamos a 10 unidades mensuales. El almacén tendrá las siguientes cantidades a fin de cada mes: $S_1 = 1633.333$ (puesto que se fabricaron 1933.33 y se entregaron al final del mes $r_1 = 300$ unidades), $S_2 = 2066.667$ (pues ya se llevan fabricadas 2 x 1933.33 = 38667 y entregadas $r_1 - r_2 = 300 - 1500 = 1800$), $S_3 = 0$ (pues al final del mes se entrega todo lo que hay en el almacén 2066.667, más lo que se fabricó en el mes, 1933.33, que son 4000 unidades) $S_4 = 0$ (pues el último mes se fabrican 10 unidades y se entregan todas al final del mismo).

Los niveles de producción se muestran en la siguiente figura. Nótese que el modelo se ha planteado de manera que las cantidades se acumulan de golpe al final de cada mes y no paulatinamente.

El costo del almacenamiento resulta ser:

$1.5(1633.33 - 2066.667) = \$5,550.00$

y el costo de los aumentos de producción es:

$1933.333 \times 30 = \$58,000.00$

El costo total por los dos conceptos es:

$5,550.00 - 58,000.00 = \$63,550.00$

valor que coincide con el costo óptimo (hay que cambiarle el signo a lo que imprimió el programa, pues para minimizar le hemos cambiado los signos al vector de costos, ya que el programa está diseñado para maximizar).

La teoría de programación lineal nos asegura que no existe ninguna programación de la producción que con los costos dados y cumplimiento de los requerimientos para el final de cada mes, resulte más económico que la que se obtuvo.

```
VAX/VMS  PRG101     PROGLI 27-JUL-1984 15:33   LPA0: 27-JUL-1984 15:33   DISK$CE$CAF11:[PRG101]PROGLI.LIS;5   VAX/VMS
VAX/VMS  PRG101     PROGLI 27-JUL-1984 15:33   LPA0: 27-JUL-1984 15:33   DISK$CE$CAF11:[PRG101]PROGLI.LIS;5   VAX/VMS
VAX/VMS  PRG101     PROGLI 27-JUL-1984 15:33   LPA0: 27-JUL-1984 15:33   DISK$CE$CAF11:[PRG101]PROGLI.LIS;5   VAX/VMS
```

PRG101

PROGLI

LIS;5

PRG101

```
VAX/VMS  PRG101     PROGLI 27-JUL-1984 15:33   LPA0: 27-JUL-1984 15:33   DISK$CE$CAF11:[PRG101]PROGLI.LIS;5   VAX/VMS
VAX/VMS  PRG101     PROGLI 27-JUL-1984 15:33   LPA0: 27-JUL-1984 15:33   DISK$CE$CAF11:[PRG101]PROGLI.LIS;5   VAX/VMS
VAX/VMS  PRG101     PROGLI 27-JUL-1984 15:33   LPA0: 27-JUL-1984 15:33   DISK$CE$CAF11:[PRG101]PROGLI.LIS;5   VAX/VMS
```

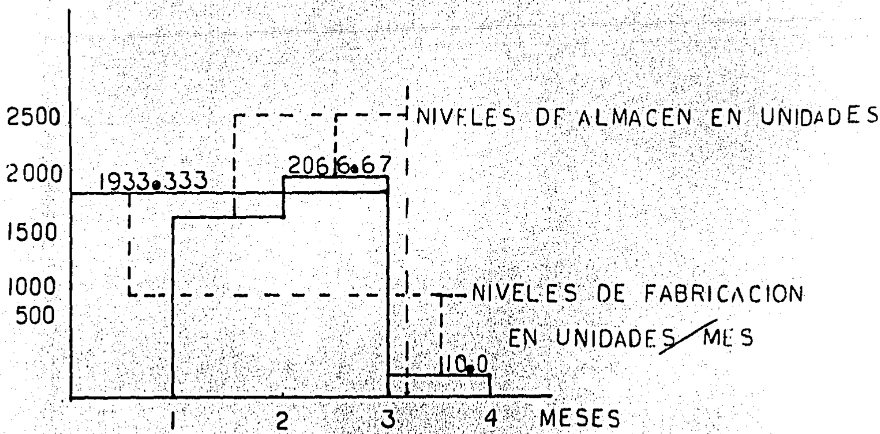
LISTADO DEL PROGRAMA PROGLI (CONTINUA)

```
0010  READ G9
0020  IF G9=9.99998E+74  THEN GOTO 0050
0030  RESTORE
0040  GOTO 0101
0050  PRINT "NO HA INTRODUCIODO LOS DATOS PARA INTRODUCIRLOS SIGA LAS"
0060  PRINT  "SIGUIENTES INSTRUCCIONES:"
0065  PRINT
0070  PRINT "COMENZANDO CON 1000 NUMERE LAS LINEAS DE UNA EN UNA"
0075  PRINT "ESCRIBIENDO DESPUES EL NUMERO DE LA PALABRA'DATA' Y DESPUES"
0080  PRINT "LOS COEFICIENTES DE CADA RESTRICCION,LAS CUALES SE DEBEN"
0085  PRINT "ORDENAR EN LA SIGUIENTE FORMA:"
0090  PRINT "PRIMERO LAS DESIGUALDADES 'MENOR IGUAL'."
0092  PRINT "DESPUES DE LAS IGUALDADES."
0094  PRINT "FINALMENTE LAS DESIGUALDADES 'MAYOR O IGUAL'"
0095  PRINT "DESPUES DE TERMINAR CON LOS COEFICIENTES SE INTRODUCE"
0096  PRINT "EL VECTOR DEL LADO DERECHO Y FINALMENTE EL VECTOR DE"
0097  PRINT "COEFICIENTES DE COSTO"
0098  PRINT "CUANDO HAYA TERMINADO DE ESCRIBIR LOS DATOS ESCRIBA EL MANDO"
0099  PRINT "'RUN' Y CONTESTE LAS PREGUNTAS QUE LE HAGA LA TERMINAL."
0100  STOP
0101  LET  C=1
0102  DIM Os[1]
0103  PRINT "ESCOJA SU OPCION PARA LA IMPRESION DE RESULTADOS."
0104  PRINT "CLAVE: S=ARREGLO SIMPLEX Y BASE EN CADA INTERACION."
0105  PRINT TAB(7);"B=BASE EN CADA INTERACION"
0106  PRINT TAB(7);"R=RESULTADO FINAL"
0107  PRINT "CAL";
0108  INPUT Os
0109  PRINT
0112  PRINT "ESCRIBA SEPARADOS CON UNA COMA EL NUMERO DE RELACIONES Y"
0115  PRINT "EL NUMERO DE VARIABLES DEL PROBLEMA.";
0116  INPUT  M,N
0120  PRINT
0124  PRINT "ESCRIBA CUANTOS 'MENOS O IGUAL','MAYOR O IGUAL'."
0128  INPUT L,E,G
0129  PRINT
0132  IF L+E+G=M THEN GOTO 0144
0136  PRINT "LOS DATOS DE SU PROBLEMA SON INCONSISTENTES."
0140  STOP
0144  LET R= M+N+G+1
0148  LET W=M
0151  LET W9=W+1
0152  DIM A[W9,B]
0180  LET M=M-1
0184  LET H=1
0188   FOR I=0 TO W+1
0192  FOR J=1 TO B
0196  LET A[I,J]=0
0200  NEXT J
0204  NEXT I
0208  FOR I=0 TO M
0212  FOR J=1 TO N
0216  READ A[I,J]
0220  NEXT J
0224  NEXT I
0228  FOR I=0 TO M
0232   READ A[I,B]
0236  NEXT I
```

```
0240    FOR J=1 TO N
0244     READ A[W,J]
0248     LET A[W,J]=-A[W,J]
0252    NEXT J
0256    FOR K=1 TO M+1
0260    LET A[K-1,N+G]=1
0264    LET A[K-1,0]=K+N+G
0268    NEXT K
0272    IF E><0  THEN GOTO 0280
0276    IF G=0 THEN GOTO 0340
0280    FOR K=L+E+1 TO M+1
0284    LET A[K-1,K+N-L-E]=-1
0288    NEXT K
0292    LET W=W+1
0296    LET Q=0
0300    FOR J=1 TO N+G
0304    LET S=0
0308    FOR I=M-G-E+1 TO M
0312      LET S=S+A[I,J]
0316    NEXT I
0320    LET A[W+J]=-S
0324    IF A[W,J]>Q THEN GOTO 0336
0328    LET Q=A[W,J]
0332    LET C=J
0336    NEXT J
0340    PRINT
0344    PRINT "SUS VARIABLES':H;"HASTA";N
0348    IF G=0 THEN GOTO 0356
0352    PRINT "VARIABLES DE HOLGURA DE LAS 'MAYOR O IGUAL'";N+1;" HASTA";N+G
0356    IF L=0 THEN GOTO 0364
0360    PRINT"VARIABLES DE HOLGURA DE LAS 'MENOR O IGUAL'";N+G+1;"HASTA";N+G+L
0364    IF G+E=0 THEN GOTO 0372
0368    PRINT "VARIABLES ARTIFICIALES";N+G+L+1;"HASTA";B-1
0372    IF O$="R" THEN GOTO 0379
0376    GOSUB 0636
0379    IF G+E=0 THEN GOTO 0512
0380    IF Q=0  THEN GOTO 0540
0384    IF O$><"R" THEN GOTO 0564
0388    LET H=H+1
0392    LET  Q=9.99997E+74
0396    LET  R=-1
0400    FOR I=0 TO M
0404     IF A[I,C]=<0 THEN GOTO 0420
0408     IF A[I,B]/A[I,C]  THEN GOTO 0420
0412     LET  Q=A[,B]/A[I,C]
0416     LET R=I
0420     NEXT I
0424     IF R=>-.5 THEN GOTO 0440
0428     PRINT "LA SOLUCION ES INFINITA."
0432    GOSUB 0636
0436    STOP
0440    LET P=A[R,C]
0447    LET A[R,0]=C
0448    FOR J=1 TO R
0452    LET A[R,J]=A[R,J]/P
0456    NEXT J
0460    FOR I=0 TO W
0464    IF I=R  THEN GOTO 0492
0468    FOR J=1 TO B
0472    IF J=C  THEN GOTO 0488
0476    LET A[I,J]=A[I,J]-A[R,J]*A[I,C]
```

```
0480  IF  ABS(A[I,J])>1E-8  THEN GOTO 0488
0484  LET A[I,J]=0
0488  NEXT J
0492  NEXT I
0496  FOR I=0 TO W
0500  LET A[I,C]=0
0504  NEXT I
0508  LET A[R,C]=1
0512  LET Q=0
0516  FOR J=1 TO N+G+L
0520  IF A[W,J]>Q  THEN GOTO 0532
0524  LET Q=A[W,J]
0528  LET C=J
0532  NEXT J
0536  GOTO 0380
0540  IF W=M+1  THEN  GOTO 0551
0544  LET W=M-1
0548  GOTO 0512
0551  PRINT
0552  PRINT
0553  FOR I=0 TO N
0554   IF A[I,0]<N+G+L+1  THEN GOTO 0556
0555   IF A[I,B]><0 THEN GOTO 0558
0556  NEXT I
0557  GOTO 0560
0558  PRINT "NO HAY SOLUCION FACTIBLE."
0559  GOTO  7000
0560  PRINT "RESPUESTA:"
0564  PRINT
0568  IF Q=0  THEN GOTO 0576
0572  PRINT "BASE ANTES DE LA INTERACCION";H
0572  PRINT "VAR.","VALOR"
0580  FOR I=0 TO M
0584  IF A[I,0]=0  THEN GOTO 0592
0588  PRINT A[I,0],A[I,B]
0592  NEXT I
0593  PRINT
0594  PRINT "VALOR DE LA FUNCION OBJETIVO ",A[W,B]
0596  IF Q><0  THEN GOTO 0388
0600  PRINT
0604  PRINT
0608  PRINT"VARIABLES DUALES:"
0612  PRINT " COLUMNA ", " VALOR"
0616  FOR J=N+1  TO  B-G-1
0620     PRINT J,A[W,J]
0624  NEXT J
0626  IF O$="R"  THEN GOTO 0632
0628  GOSUB 0636
0632  GOTO  7000
0636  PRINT
0638  IF O$="B" THEN GOTO 0676
0640  PRINT
0644  PRINT "ARREGLO SIMPLEX DESPUES DE ";H-1;"ITERACIONES"
0648  FOR I=0  TO W
0652     FOR J=1  TO B
0656     PRINT A[I,J]
0660   NEXT J
0664   PRINT
0668   PRINT
0672  NEXT I
0676  RETURN
```

```
6090  DATA 9,99998E+74
7000  END
```




**Gráfica de Programación de la Producción.**

El tiempo total empleado en la terminal para resolver este problema (incluye el tiempo para teclear los datos) fué de 6 minutos y el tiempo empleado en plantear el problema fué de 30 minutos. La cantidad de dinero que nos puede ahorrar un estudio de este tipo puede ser de varias centenas de miles de pesos.

```
VAX/VMS  WTS000       SES 17-AUG-1984 16:04   LPA0: 17-AUG-1984 16:18   DISK$CECAFI2:[WTS000]SES.DAT;2        VAX/VMS
VAX/VMS  WTS000       SES 17-AUG-1984 16:04   LPA0: 17-AUG-1984 16:18   DISK$CECAFI2:[WTS000]SES.DAT;2        VAX/VMS
VAX/VMS  WTS000       SES 17-AUG-1984 16:04   LPA0: 17-AUG-1984 16:18   DISK$CECAFI2:[WTS000]SES.DAT;2        VAX/VMS
```

```
                    W     W  TTTTT   SSSS   000    000    000
                    W     W    T    S      0   0  0   0  0   0
                    W     W    T    S      0  00  0  00  0  00
                    W     W    T     SSS   0 0 0  0 0 0  0 0 0
                    W  W  W    T        S  00  0  00  0  00  0
                    W W W W    T        S  0   0  0   0  0   0
                    WW   WW    T    SSSS    000    000    000

   SSSSSSSS   EEEEEEEEEE   SSSSSSSS
   SSSSSSSS   EEEEEEEEEE   SSSSSSSS
 SS           EE         SS
 SS           EE         SS
 SS           EE         SS
 SS           EE         SS
   SSSSSS     EEEEEEEE     SSSSSS
   SSSSSS     EEEEEEEE     SSSSSS
         SS   EE                 SS
         SS   EE                 SS
         SS   EE                 SS      ::::
         SS   EE                 SS      ::::
 SSSSSSSS     EEEEEEEEEE SSSSSSSS        ::::
 SSSSSSSS     EEEEEEEEEE SSSSSSSS        ::::

 DDDDDDDD      AAAAAA      TTTTTTTTTT      ;;;;      222222
 DDDDDDDD      AAAAAA      TTTTTTTTTT      ;;;;      222222
 DD      DD  AA      AA        TT          ;;;;    22      22
 DD      DD  AA      AA        TT          ;;;;    22      22
 DD      DD  AA      AA        TT                          22
 DD      DD  AA      AA        TT                          22
 DD      DD  AA      AA        TT          ;;;;          22
 DD      DD  AA      AA        TT          ;;;;          22
 DD      DD  AAAAAAAAAA        TT          ;;;;        22
 DD      DD  AAAAAAAAAA        TT          ;;;;        22
 DD      DD  AA      AA        TT            ;;      22
 DD      DD  AA      AA        TT            ;;      22
 DDDDDDDD    AA      AA        TT          ;;      2222222222
 DDDDDDDD    AA      AA        TT          ;;      2222222222

                    W     W  TTTTT   SSSS   000    000    000
                    W     W    T    S      0   0  0   0  0   0
                    W     W    T    S      0  00  0  00  0  00
                    W     W    T     SSS   0 0 0  0 0 0  0 0 0
                    W  W  W    T        S  00  0  00  0  00  0
                    W W W W    T        S  0   0  0   0  0   0
                    WW   WW    T    SSSS    000    000    000
```

```
VAX/VMS  WTS000       SES 17-AUG-1984 16:04   LPA0: 17-AUG-1984 16:18   DISK$CECAFI2:[WTS000]SES.DAT;2        VAX/VMS
VAX/VMS  WTS000       SES 17-AUG-1984 16:04   LPA0: 17-AUG-1984 16:18   DISK$CECAFI2:[WTS000]SES.DAT;2        VAX/VMS
VAX/VMS  WTS000       SES 17-AUG-1984 16:04   LPA0: 17-AUG-1984 16:18   DISK$CECAFI2:[WTS000]SES.DAT;2        VAX/VMS
```

```
SESION PARA RESOLVER EL PROBLEMA DE PLANEACION


NO HA INTRODUCIDO LOS DATOS.PARA INTRODUCIRLOS SIGA LAS SIGUIENTES
INSTRUCCIONES:
COMENZANDO CON 1000 NUMERE LAS LINEAS DE UNA EN UNA,
ESCRIBIENDO DESPUES DEL NUMERO LA PALABRA'DATA'Y DESPUES
LOS COEFICIENTES DE CADA RESTRICCION ,LAS CUALES SE DEBEN
ORDENAR EN LA SIGUIENTE FORMA:
PRIMERO LAS DESIGUALDADES'MAYOR O IGUAL'.
DESPUES LAS DESIGUALDADES.
FINALMENTE LAS DESIGUALDADES 'MAYOR O IGUAL'.
DESPUES LAS IGUALDADES.
EL VECTOR DEL LADO DERECHO Y FINALMENTE EL VECTOR DE COEFICIENTES
DE COSTO
CUANDO HAYA TERMINADO DE ESCRIBIR LOS DATOS ESCRIBA EL MANDO
'RUN' Y CONTESTE LAS PREGUNTAS QUE LE HAGA LA TERMINAL.


STOP AT 0100


*OK


1000  DATA 0,0,0,0,-1,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0,0
1001  DATA 0,0,0,0,1,-1,0,0,0,1,0,0,0,0,0,0
1002  DATA 0,0,0,0,0,1,-1,0,0,0,1,0,0,0,0,0
1003  DATA 0,0,0,0,0,0,1,-1,0,0,0,1,0,0,0,0
1004  DATA -1,0,0,0,0,0,0,0,1,0,0,0,1,0,0,0
1005  DATA 0,-1,0,0,0,0,0,0,-1,1,0,0,0,1,0,0
1006  DATA 0,0,-1,0,0,0,0,0,0,-1,1,0,0,0,1,0
1007  DATA 0,0,0,-1,0,0,0,0,0,0,-1,1,0,0,0,1
1008  DATA 300,1500,4000,10,0,0,0,0
1009  DATA -30,-30,-30,-30,-1.5,-1.5,-1.5,-1.5,0,0,0,0,0,0,0,0


RUN
ESCOJA SU OPCION PARA LA IMPRESION DE RESULTADOS.
CLAVE: S=ARREGLO SIMPLEX Y BASE EN CADA ITERACION.
       B=BASE EN CADA ITERACION
       R=RESULTADO FINAL
 CUAL  ? R
ESCRIBA SEPARADOS CON UNA COMA EL NUMERO DE RELACIONES Y
EL NUMERO DE VARIABLES DEL PROBLEMA.?8,16
ESCRIBA CUANTOS 'MENORES O IGUALES','IGUAL','MAYOR O IGUAL'.
? 0,8,0

SUS VARIABLES 1 HASTA 16
VARIABLES ARTIFICIALES 17 HASTA 24

RESPUESTAS

VARIABLES                 VALOR
        16                  1923.33
         5                  1033.33
         6                  2066.67
         1                  1933.33
         9                  1933.33
        10                  1933.33
        11                  1933.33
```

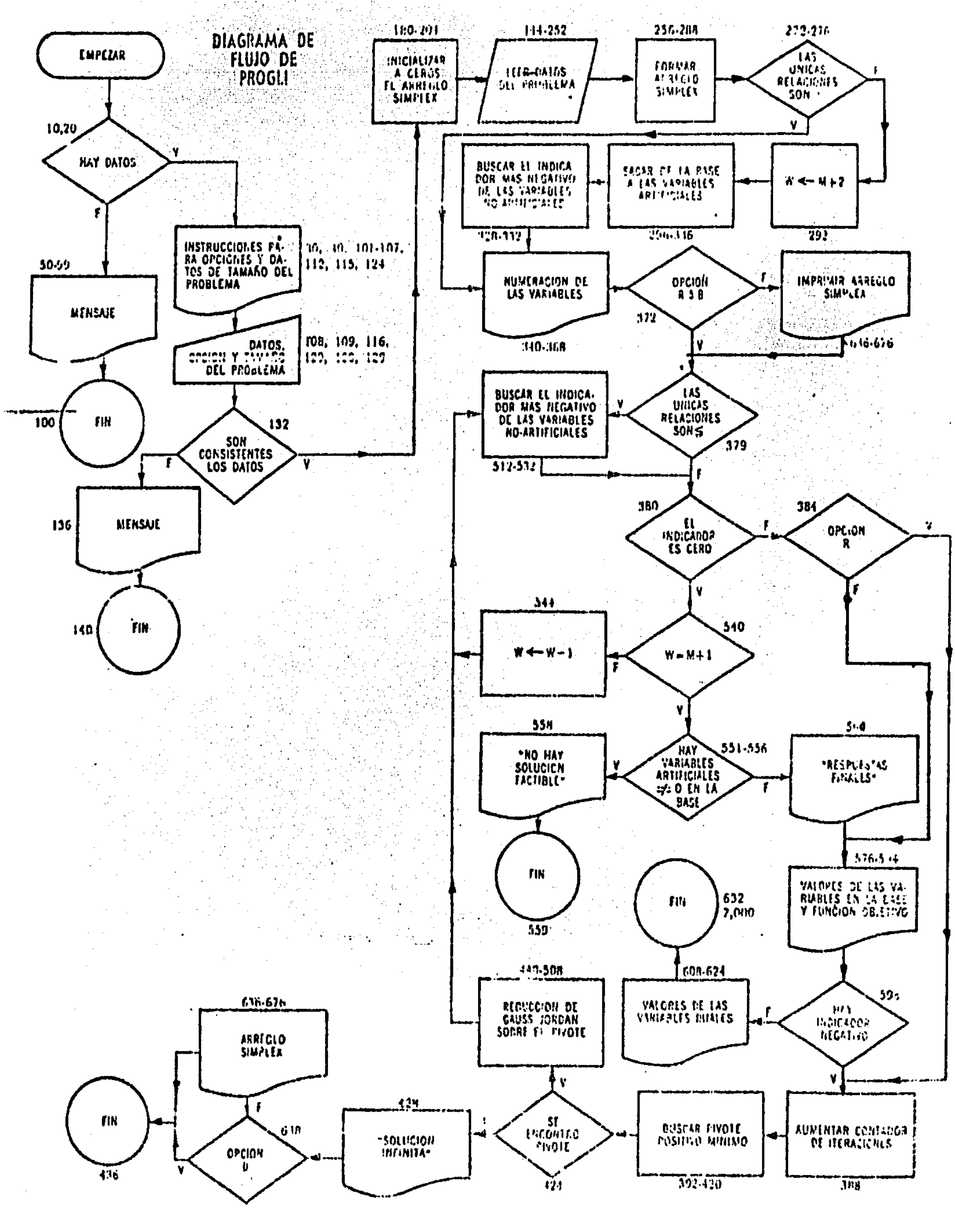
12 10

VALOR DE LA FUNCION OBJETIVO

Z -63550

| VARIABLES COLUMNA | DUALES VALOR |
|---|---|
| 17 | -5.5 |
| 18 | -10 |
| 19 | -11.5 |
| 20 | 0 |
| 21 | 30 |
| 22 | 21.5 |
| 23 | 11.5 |
| 24 | 0 |

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROGLI



# 4. APLICACIONES DE LA PROGRAMACION LINEAL AL SECTOR AGROPECUARIO

## 4. APLICACIONES DE LA PROGRAMACION LINEAL AL SECTOR AGROPECUARIO

En el capítulo anterior se presentaron algunos lineamientos generales de la programación lineal, haciendo uso de técnicas sistemáticas y de modelación como estrategias razonables para definir la toma de decisiones en la planeación agrícola de un país, en esta parte se hace una - presentación de diferentes aplicaciones de la progrmación lineal en computadora.

En este caso se desea contribuir al incremento de la producción y productividad del sector agropecuario, dada su importancia económica para el país, y su valor en el vestido y alimentación del pueblo mexicano. La contribución si bien es muy importante, se puede incrementar considerablemente, puesto que las tasas de la extracción que se hace de las diferentes especies agrícolas y domésticas (sector pecuario) que se explotan en México, resultan muy bajas cuando se les compara con los de otros países, por ejemplo, Estados Unidos, Francia, Alemania Occidental. Si bien en esta baja productividad están involucrados muchos factores; nadie duda que es la disponibilidad total y calidad de tierra y disponibilidad de agua en los cultivos y en el sector pecuario la mala alimentación que mayor influencia tiene.

En la mayoría de los países en desarrollo, debido a la escaséz de tierra disponible para el cultivo sin las grandes inversiones de capital, los aumentos de la producción agropecuaria dependen en gran medida del aumento de rendimiento en las áreas existentes, basadas en el uso de - semillas mejoradas, el uso eficiente del agua, del uso de fertilizantes y pesticidas. En suma, se requieren programas de investigación y adiestramiento, así como la organización necesaria para proporcionar los servicios de abastecimiento de insumos que demande el programa de producción.

La producción de alimentos implica el manejo de seres vivientes ya sean plantas o animales, que están sujetos a una serie de condiciones para su desarrollo y rendimiento óptimo. Algunas de estas condiciones pueden ser controladas por el hombre, otras no, al menos desde el punto de vista económico. Ambos grupos de condiciones forman el conjunto de factores de la producción, a saber: suelo, agua, geología, mano de obra, capital y tecnología.

La iteracción del recurso agua con el recurso suelo y el factor ecología determinan las variantes de las posibilidades de uso del suelo como sigue: tierras de riego, tierras de humedad y tierras de temporal. En cuanto al desarrollo adecuado de algunos cultivos, las tierras de humedad brindan mayor seguridad que las tierras de temporal, cuando se tiene una igualdad de condiciones ecológicas. Por último, las tierras de riego representan el recurso más valioso por que aseguran la producción; esto permite un mayor uso de otros factores y recursos como los tecnológicos.

Los fenómenos económicos como la demanda, elasticidad y precio de los productos agropecuarios, tienen una influencia definitiva en la planeación agrícola. La toma de decisiones estará enfocada a lograr un autoabastecimiento de los productos básicos, siempre y cuando resulte más económico producirlos que importarlos.

La formulación de los programas de cultivo deberán realizarse en función de la demanda del producto, precio unitario, costo de producción, rendimiento unitario y cantidad de agua utilizada por unidad de superficie. En estas condiciones se puede determinar el costo para producir un volumen determinado del producto básico, en función de los cultivos de mayor redituabilidad.

Además, en plan ilustrativo, desarrollaremos un modelo simple de programación lineal, el cual ha sido ya ampliamente aplicado en México, por el Dr. Miguel Angel Cárdenas, Presidente de la Planificación y Desarrollo de Sistemas, S. A. de C. V., para seleccionar la mezcla óptima de cultivos en una zona y maxizar beneficios a los agricultores involucrados.

## 4.1 MODELO DE CULTIVOS

El modelo que se plantea a continuación tiene por objeto optimizar los beneficios en una zona mediante una combianción de cultivos ecológicamente factibles, utilizando la técnica de programación lineal.

Se plantean dos funciones objetivo:

1) Ingresos totales del agricultor (utilidades más ingresos de la mano de obra).
2) El valor bruto de la producción de la zona.

Se incluyeron en el modelo 4 tipos de restricciones:

a) Disponibilidad total y calidad de la tierra.
b) Disponibilidad de agua
c) Restricciones de mercado.
d) Condición de no-negatividad

$$\text{Max } (u) = b_1x_1 - b_2x_2 - \ldots - b_nx_n = \sum_{i=1}^{n} b_i \cdot x_i$$

$$\text{Max } (VBP) = a_1\, x_1 - a_2x_2 - \ldots - a_nx_n = \sum_{i=1}^{M} a_i \cdot x_i$$

Donde:

u = Ingresos totales del agricultor

VBP = Valor bruto de la producción

$a_i$ = Valor bruto de la producción por hectárea en el cultivo i.

$b_i$ = Utilidades más ingresos de mano de obra por hectárea en el cultivo i.

$x_i$ = Hectáreas ocupadas en el cultivo i.

a) = Restricción de tierras.

$$X_{11} + X_{12} + \ldots + X_{MR} \leq T_i$$

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{k} X_{ij} \leq T_j$$

Donde:

T = disponibilidad total de tierras.

j = calidad de tierras = 1, 2,...

b) Restricción de agua.

$$L_1 X_1 + L_2 X_2 + \ldots L_n X_n \leq A$$

$$\sum_{i=1}^{n} L_i X_i \leq A$$

A = disponibilidad total de agua de riego.

L = requerimiento de agua por hectárea para el cultivo i

c) Restricciones de mercado.

$$X_1 \leq M_1$$
$$X_2 \leq M_2$$
$$\vdots$$
$$X_n \leq M_n$$

$M_1$ = Limitaciones del mercado para el cultivo "i" traducida en términos de hectáreas.

d) Restricciones de no-negatividad $X \geq 0$, $i = 1,2,3,4,\ldots,n$.

El área del proyecto se dividió en dos zonas, la primera, regada por aguas de una presa y la segunda por aguas de un río, más los excedentes del agua de la presa después de atender el programa de riego de la primera zona.

Los requerimientos de agua para cultivo se consideran diferentes para cada zona, dadas las condiciones ecológicas.

Definición de variables:

| CULTIVO | VARIABLES | |
|---|---|---|
| | ZONA 1 | ZONA 2 |
| Trigo | $X_1$ | $X_2$ |
| Garbanzo | $X_3$ | $X_4$ |
| Cebada malta | $X_5$ | $X_6$ |
| Avena en grano | $X_7$ | $X_8$ |
| Alpiste | $X_9$ | $X_{10}$ |
| Maíz en grano | $X_{11}$ | $X_{12}$ |
| Cebolla | $X_{13}$ | $X_{14}$ |

| | | |
|---|---|---|
| Papa | $X_{15}$ | $X_{16}$ |
| Soya | $X_{17}$ | $X_{18}$ |
| Sorgo en grano | $X_{19}$ | $X_{20}$ |
| Sorgo forrajero | $X_{21}$ | $X_{22}$ |
| Alfalfa verde | $X_{23}$ | $X_{24}$ |
| Praderas artificiales | $X_{25}$ | $X_{26}$ |
| Chile verde | $X_{27}$ | $X_{28}$ |
| Ajo | $X_{29}$ | $X_{30}$ |
| Tomate | $X_{31}$ | $X_{32}$ |

Funciones objetivo:

$$
\begin{aligned}
\text{Max } (u) = \; & 868\,X_1 + 1249\,X_3 + 1292\,X_5 + 752\,X_7 + 1431\,X_9 + 1837\,X_{11} + \\
& + 6417\,X_{13} + 2345\,X_{15} + 2047\,X_{17} + 1057\,X_{19} + 1332\,X_{21} + \\
& + 5157\,X_{23} + 2508\,X_{25} + 4845\,X_{27} + 4298\,X_{29} + 1706\,X_{31} + \\
& + 868\,X_2 + 1249\,X_4 + 1292\,X_6 + 752\,X_8 + 1431\,X_{10} + 1837\,X_{12} + \\
& + 6417\,X_{14} + 2345\,X_{16} + 2047\,X_{18} + 1057\,X_{20} + 1332\,X_{22} + \\
& + 5157\,X_{24} + 3508\,X_{26} + 4845\,X_{28} + 4298\,X_{30} + 1706\,X_{32}.
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
\text{Max } (VBP) = \; & 2739\,X_1 + 1920\,X_3 + 3000\,X_5 + 2430\,X_7 + 2875\,X_9 + \\
& + 3100\,X_{11} + 8400\,X_{13} + 7700\,X_{15} + 3200\,X_{17} + 2500\,X_{19} + \\
& + 2400\,X_{21} + 6000\,X_{23} + 4800\,X_{25} + 7150\,X_{27} + 7000\,X_{29} + \\
& + 3000\,X_{31} + 2739\,X_2 + 1920\,X_4 + 3000\,X_6 + 4230\,X_8 + \\
& + 2875\,X_{10} + 3100\,X_{12} + 8400\,X_{14} + 7700\,X_{16} + 3200\,X_{18} + \\
& + 2500\,X_{20} + 2400\,X_{22} + 6000\,X_{24} + 4800\,X_{26} + 7150\,X_{28} + \\
& + 7000\,X_{30} + 3000\,X_{32}.
\end{aligned}
$$

Restricciones de tierra, zona I, ciclo de verano.

$$X_{11} + X_{15} + X_{17} + X_{19} + X_{21} + X_{23} + X_{25} + X_{27}\ X_{31} \leq 5.580$$

Ciclo de invierno $\quad X_1 + X_3 + X_5 + X_7 + X_9 + X_{13} + X_{23} + X_{25} + X_{29} \leq 5580$

Zona II, ciclo verano $\quad X_{12} + X_{16} + X_{18} + X_{20} + X_{22} + X_{24} + X_{26} + X_{28} + X_{32} \leq 26160$

Ciclo de invierno $\quad X_2 + X_4 + X_6 + X_8 + X_{10} + X_{14} + X_{24} + X_{26} + X_{30} \leq 16246$

Restricciones de agua.

$$800\ X_1 + 2100\ X_3 + 8000\ X_5 + 8000\ X_7 + 4200\ X_{11} + 10500\ X_{13} + 8000\ X_9 +$$
$$+ 8200\ X_{15} + 2100\ X_{17} + 2100\ X_{19} + 2100\ X_{21} + 15100\ X_{23} + 8800\ X_{25} +$$
$$+ 5300\ X_{27} + 12000\ X_{29} + 10000\ X_{31} + 7300\ X_2 + 2100\ X_4 + 7300\ X_8 +$$
$$+ 7300\ X_{10} + 4200\ X_{12} + 9600\ X_{14} + 7500\ X_{16} + 2100\ X_{18} + 2200\ X_{20} +$$
$$+ 2200\ X_{22} + 14400\ X_{24} + 8500\ X_{26} + 5400\ X_{28} + 10800\ X_{30} + 9600\ X_{32}$$
$$\leq 545\ 000\ 000.$$

Restricciones de mercado:

$X_2 + X_1 \leq 8600$ ; $X_3 + X_4 \leq 15000$ ; $X_5 + X_6 \leq 3000$

$X_8 + X_7 \leq 300$ ; $X_9 + X_{10} \leq 750$ ; $X_{17} + X_{12} \leq 6600$

$X_{14} + X_{13} \leq 700$ ; $X_{15} + X_{16} \leq 180$ ; $X_{11} + X_{18} \leq 2000$

$X_{20} + X_{19} \leq 62800$ ; $X_{21} + X_{22} \leq 12300$ ; $(X_{23} + X_{24} + (X_{25} - X_{26}) \leq 350$

$X_{28} + X_{27} \leq 500$ ; $X_{29} + X_{30} \leq 100$ ; $X_{31} + X_{32} \leq 300$

Resultados:

| VARIABLES | CULTIVO | |
|---|---|---|
| $X_3$ | Garbanzo | 15 131 |
| $X_4$ | Garbanzo | 13 246 |
| $X_6$ | Cebada malta | 3 000 |
| $X_9$ | Alpiste | 750 |
| $X_{12}$ | Maíz en grano | 11 500 |
| $X_{13}$ | Cebolla | 700 |

| VARIABLES | CULTIVO | |
|---|---|---|
| $X_{16}$ | Papa | 180 |
| $X_{18}$ | Soya | 2 000 |
| $X_{19}$ | Sorgo en grano | 2 280 |
| $X_{20}$ | Sorgo en grano | 12 480 |
| $X_{23}$ | Alfalfa verde | 2 500 |
| $X_{27}$ | Chile verde | 500 |
| $X_{29}$ | Ajo | 100 |
| $X_{31}$ | Tomate cáscara | 300 |

Con este tipo de modelo matemático nos permite realizar una redistribución que minimiza el costo general del uso del recurso tierra con una producción obligada de los productos básicos, en función de un modelo de transporte para considerar no sólo la producción óptima en cada zona sino además su radio de influencia para minimizar volúmenes de transporte.

Para la implementación y operación de un sistema de esta naturaleza, en las dependencias encargadas de este sector, se pretende instalar tales herramientas, adaptándolas y desarrollándolas de acuerdo a la visión o perspectiva que los centros de decisión tengan el problema. Esto permitirá una evaluación de alternativas con acotamientos de tipo cuantitativos (de juicio humano, de política de producción, etc.,) que bien pueden ser igualmente importantes y, en cuyo caso los efectos de tal o cual grupo de decisiones se pueden medir con anticipación.

## 4.2 LA PROGRAMACION LINEAL EN LA FORMULACION DE RACIONES BALANCEADAS EN LA PRODUCCION ANIMAL.

Las materias primas básicas de la producción animal son los alimentos, que constituyen el renglón más importante de costos de las empresas ganaderas. De ahí que la eficiente administración de los alimentos sea la preocupación principal que confronta el ganadero para lograr niveles convenientes de productividad física y de rentabilidad de la empresa que dirige.

La clave de la buena administración de los alimentos se encuentra en el cálculo de las "Raciones balanceadas más económicas" que consisten en el suministro a los animales de la cantidad de nutrientes que correspondan a sus necesidades vitales y productivas con el menor costo posible. Sí se les proporciona una cantidad mayor a sus requerimientos se incurre en desperdicio, y si es menor se desaprovecha la oportunidad de obtener mejores rendimientos físicos y económicos.

Antes de entrar en materia comprendamos lo que se entiende por balanceo de raciones, las ventajas de proporcionar a los animales raciones balanceadas y, a su vez, que pasos previos a la formulación.

Balanceo de Raciones.- es el ajuste de las cantidades de los ingredientes o alimentos que se desea compongan la ración de tal forma que los nutrientes que contenga por unidad de peso, o como porciento de la materia seca, correspondan a los que requiere el animal que se desea alimentar.

Razones de la formulación:

- Sólo con raciones balanceadas se puede lograr producciones acordes con el potencial genético de los animales.
- Sólo con una alimentación adecuada se pueden lograr producciones económicas. Esto obedece a que la alimentación representa el mayor porcentaje de los costos totales de producción (cuarenta y cinco porciento o más).
- Sólo con animales bién alimentados se aprovechan en su totalidad las mejoras que se hagan en lo genético, y en sanidad y manejo.

Pasos previos a la formulación:

1o. Se determina el peso o la edad promedio de los animales que se quiere alimentar.

2o. Se determine la ganancia de peso o producción que espera de los animales.

3o. Se determine el estado productivo y reproductivo de sus animales.

4o. Se determine los requerimientos nutricionales de los animales.

Para el caso de rumiantes (bovinos de carne y leche) se sugiere que se consideren los requerimientos de: materia seca, proteína, energía, sal, calcio y fósforo. Estos tres últimos nutrientes pueden ser considerados al final de la formulación, puesto que pueden ser proporcionados a libertad.

5o. Se enlisten los alimentos con que se cuenta y se anote para cada uno de ellos la composición nutritiva.

6o. Se determine el método matemático que se desee utilizar en la formulación de la ración.

Esto obedece a que cada método permite balancear raciones para distinto número de nutrientes; de ahí que se debe seleccionar, cuál es el apropiado para cada caso particular.

Existen varios métodos usados en la Formulación de Raciones como: El Nuevo Método 27, Un Método Fácil y Rápido, Método de Substitución, Método de Consumo de Materia Seca, Cuadrado de Pearson, Ecuaciones Algebraicas, Método Vectorial Kaldman Trujillo y el Método de Programación Lineal. Para nuestro caso el que nos interesa es el de Programación Lineal.

A continuación Soluciones con la Computadora:

```
VAX/VMS   WTS000        SES1 17-AUG-1984 16:03   LPA0: 17-AUG-1984 16:17   DISK$CECAF12:[WTS000]SES1.DAT;10                    VAX/VMS
```

```
VAX/VMS   WTS000        SES1 17-AUG-1984 16:03   LPA0: 17-AUG-1984 16:17   DISK$CECAF12:[WTS000]SES1.DAT;10                    VAX/VMS
VAX/VMS   WTS000        SES1 17-AUG-1984 16:03   LPA0: 17-AUG-1984 16:17   DISK$CECAF12:[WTS000]SES1.DAT;10                    VAX/VMS
```



```
VAX/VMS   WTS000        SES1 17-AUG-1984 16:03   LPA0: 17-AUG-1984 16:17   DISK$CECAF12:[WTS000]SES1.DAT;10                    VAX/VMS
VAX/VMS   WTS000        SES1 17-AUG-1984 16:03   LPA0: 17-AUG-1984 16:17   DISK$CECAF12:[WTS000]SES1.DAT;10                    VAX/VMS
VAX/VMS   WTS000        SES1 17-AUG-1984 16:03   LPA0: 17-AUG-1984 16:17   DISK$CECAF12:[WTS000]SES1.DAT;10                    VAX/VMS
```

EL MODELO DE PROGRAMACION LINEAL QUE SE ELABORA PARA LA COMPUTADORA, SE HACE SIGUIENDO LA MISMA METODOLOGIA QUE HEMOS EMPLEADO PARA ELABORAR EL CORRESPONDIENTE EN LA SOLUCION GRAFICA Y EN EL METODO SIMPLEX. LAS VENTAJAS DE LA COMPUTADORA CON RESPECTO A NOSOTROS, SON QUE NOS RESUELVE MODELOS DE PROGRAMACION LINEAL MAS COMPLEJOS EN MENOR TIEMPO Y QUE NOS DA INFORMACION QUE EN FORMA MANUAL NO PODEMOS OBTENER

PROCESO INTEGRAL QUE SE MANEJA CON LA COMPUTADORA:

1.- SE COMPONE DE LA INFORMACION QUE SE USA PARA ELABORAR EL MODELO.

-COMPOSICION NUTRITIVA DE LOS ALIMENTOS CON LOS QUE SE QUIERE BALANCEAR LA RACION.INCLUYENDO UNICAMENTE LOS NUTRIENTES DE INTERES EN LA FORMULACION.

-REQUERIMIENTO NUTRICIONALES DEL ANIMAL PARA EL QUE DESEAMOS FORMULAR.

-MAXIMOS Y MINIMOS DE CADA NUTRIENTE CONSIDERADO.

-MAXIMOS OPTIMOS DE CADA ALIMENTO CONCIDERADO.

-PRECIOS POR KG. O TONELADA DE CADA ALIMENTO O INGREDIENTE.

2.- SE PROCEDE A CODIFICAR LA INFORMACION ALIMENTA A LA COMPUTADORA Y ESTA OFRECE LA SOLUCION.

3.- CONSISTE EN LOS RESULTADOS QUE PROPORCIONA LA COMPUTADORA A SABER:

-FORMULA DE MENOR COSTO Y EL COSTO DE LA RELACION.

-LA COMPOSICION NUTRITIVA DE LA RACION DE MENOR COSTO

-EL PRECIO AL CUAL LOS ALIMENTOS QUE NO INTEGRARON LA RACION, SI PODRIAN ENTRAR EN LA RACION DE MENOR COSTO.

-RANGO DE PRECIOS EN LA ALIMENTOS SEGUIRAN INTEGRANDO LA RACION DE MENOR COSTO.

COMPOCICION NUTRITIVA DE LOS ALIMENTOS

REQUERIMIENTO NUTRICIONALES DEL ANIMAL Y MAXIMOS Y MINIMOS.

NIVELES MAXIMOS RECOMENDABLES DE CADA ALIMENTO.

PROGRAMACION LINEAL

COMPUTADORA

INFORMACION

DIAGRAMA DEL PROGRAMA DE COMPUTO QUE MUESTRA LA INFORMACION QUE ENTRA Y SALE DE LA COMPUTADORA ([illegible], [illegible], E.R. Y ULLREY, D.E., 1975).

LA INFORMACION CONSISTE EN :

- FORMULAR DE MENOR COSTO DE LA RACION.
- COMPOSICION NUTRITIVA DE LA RACION DE MENOR COSTO.
- PRECIO AL CUAL LOS ALIMENTOS SE PODRIAN ENTRAR EN LA RACION DE MENOR COSTO.
- RANGO DE PRECIOS AL CUAL LOS ALIMENTOS SEGUIRAN INTEGRANDO LA RACION DE MENOR COSTO.

A CONTINUACION DETALLAMOS LO DICHO EN LA FORMULACION DE UNA RACION

PRIMER PASO:

VAMOS A FORMULAR UNA RACION PARA CERDOS EN CRECIMIENTO (22.7-34.0 KILOGRAMOS DE PESO). SUPONGAMOS QUE LA RACION QUEREMOS BALANCEARLA EN PROTEINAS, ENERGIA METABOLIZABLE, LISINA, CALCIO, FOSFORO; ASI MISMO CONSIDERAMOS QUE DESEAMOS INCLUIR LA SAL (0.5 PORCIENTO), MINERALES TRAZA (0.5 PORCIENTO) Y PREMAZCLA VITAMINICA (2.0 PORCIENTO) EN FORMA CONSTANTE; O SEA QUE QUEDAN 97 KILOGRAMOS DE 100 O 970 DE 1000. COMO INGREDIENTES UTILIZAREMOS CABADA, MAIZ, HARINA DE PESCADO, SORGO, SOYA, PIEDRA CALIZA, FOSFATO DICALCICO Y L-LISINA (HCL).

LA COMPOSICION DE ESTOS INGREDIENTES PARA LOS NUTRIENTES EN QUE SE QUIERE BALANCEAR SE ANOTAN EN EL CUADRO NUMERO 1, ADEMAS EN ESTE TAMBIEN SE ANOTAN LOS MAXIMOS PARA CADA INGREDIENTE.

LOS INGREDIENTES NUTRICIONALES DE LOS CERDOS EN CRECIMIENTO SE PRESENTAN EN EL CUADRO NUMERO 2. EN EL MISMO CUADRO TAMBIEN SE ANOTAN LOS MINIMOS Y MAXIMOS PARA CADA NUTRIENTE Y LA CANTIDAD DE ALIMENTOS QUE SE DESEA FORMULAR, SIN CONSIDERAR LO QUE CORRESPONDE A LAS CANTIDADES CONSTANTES (TREINTA KILOGRAMOS).

SEGUNDO PASO

UNA VEZ QUE YA CONTAMOS CON LA INFORMACION DE LOS CUADROS NUMERO 1, 2 PROCEDEMOS A ELABORAR LAS ECUACIONES QUE NOS REPRESENTAN EL MODELO DE PROGRAMACION LINEAL QUE SE COMPONE DE LA FUNCION OBJETIVO Y LAS RESTRICCIONES.

CUADRO No. 1

ALIMENTOS, LIMITES MAXIMOS Y MINIMOS, COMPOSICION NUTRITIVA Y PRECIO POR KILOGRAMO DE CADA INGREDIENTE

| ALIMENTO (NOMBRE) | LIMITES MINIMO | MAXIMO | COMPOSICION NUTRITIVA PROTEINAS | ENERGIA METABOLIZANTE | LISINA KG | CALCIO KG | FOSFORO KG | PRECIO KG |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CEBADA X1 | -- | 600 | 0.115 | 2.805 | 0.0036 | 0.0006 | 0.0036 | 1.50 |
| MAIZ X2 | -- | 800 | 0.088 | 3.300 | 0.0026 | 0.0001 | 0.0026 | 2.40 |
| H.DE PEZ X3 | -- | -- | 0.600 | 2.640 | 0.0460 | 0.0490 | 0.0280 | 6.00 |
| SORGO X4 | -- | 800 | 0.090 | 3.135 | 0.0022 | 0.0002 | 0.0027 | 1.80 |
| SOYA X5 | -- | 250 | 0.440 | 3.245 | 0.0288 | 0.0025 | 0.0060 | 5.20 |
| PIEDRA X6 CALIZA | -- | -- | -- | -- | -- | 0.3380 | 0.0020 | 1.20 |
| FOSFATO X7 DICALCICO | -- | -- | -- | -- | -- | 0.2810 | 0.1987 | 1.50 |
| L-LISINA HCL X8 | -- | -- | -- | -- | 0.9500 | -- | -- | 97.50 |
| SAL | 5.0 | 5.0 | -- | -- | -- | -- | -- | 0.90 |
| MINERAL TRAZA | 5.0 | 5.0 | -- | -- | -- | -- | -- | 6.00 |
| PREMEZCLA | 20.0 | 20.0 | -- | -- | -- | -- | -- | 7.50 |

CUADRO # 2

REQUISITO NUTRICIONALES DE CERDOS EN CRECIMIENTO.

| LIMITES | CANTIDAD DE RACION KG | REQUISITOS NUTRICIONALES POR KILOGRAMO PROTEINA KG | ENERGIA M. KG | LISINA KG | CALCIO KG | FOSFORO KG |
|---|---|---|---|---|---|---|
| MINIMO | 970 | 0.160 | 3.080 | 0.0078 | 0.0050 | 0.0050 |
| MAXIMO | 970 | 0.180 | ---- | ---- | 0.0070 | ---- |

FUNCION OBJETIVO:

MINIMIZAR C=1.50 X1 +2.40 X2 +6.00 X3 +5.20 X5 +1.20 X6 +
+1.50 X7 +97.50 X8 ---------------------------(1)

SUJETA A LAS RESTRICCIONES DEL CUADRO # 1.

X1<=600---------------------------------(2)
X2<=800---------------------------------(3)
X4<=800---------------------------------(4)

X5<=250 ---------------------------------------- (5)

Y LAS RESTRICCIONES DEL CUADRO # 2

X1+X2+X3+X4+X5+X6+X7+X8 = 970 KG --------------------------- (6)

0.115 X1 +0.088 X2 +0.600 X3 +0.090 X4 +0.440 X5 >=180 KG ---(7)
0.115 X1 +0.088 X2 +0.600 X3 +0.090 X4 +0.440 X5 <=180 KG ---(8)
2,805 X1 +3.300 X2 +2.640 X3 +3.135 X4 +3.245 X5 >=3080 KCAL --(9)
0.0035 X1 +0.0026 X2 +2,400 X3 +0.0022 X4 +.0245 X5 +0.9500 X8 >=7.8 KG --(10)
0.0006 X1 +0.0001 X2 +0.0490 X3 +0.0002 X4 + 0.0025 + 0.3380 X6 +
+0.2510 X7 >=5.0 KG -----------(11)
0.0006 X1 +0.0001 X2 +0.0490 X3 +0.0002 X4 + 0.0025 + 0.3380 X6 +
+0.2610 X7 <=7.0 KG -----------(12)
0.0036 X1 +0.0025 X2 +0.0280 X3 +0.0027 X4 +0.0060 X5 +0.0020 X6 +
+0.1967 X7 >=5.0 KG -----------(13)

TERCER PASO

UNA VEZ QUE CON TODAS LAS EXPRESIONES MATEMATICAS,PROCEDEMOS A HACER LA CODIFICACION DE LOS COEFICIENTES DE LAS LETRAS EN CADA ECUACION.PRIMERO CODIFICAREMOS LOS COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES CON LAS RESTRICCIONES DE MENOR O IGUAL(<=),EN SEGUIDA LAS ECUACIONES QUE TENGAN IGUALDADES(=),DESPUES LOS COEFICIENTES DE LAS ECUACIONES CON RESTRICCIONES DE MAYOR O IGUAL (>=) Y POR ULTIMO SE HACE LA ANOTACION DE LOS COEFICIENTES DE LA FUNCION OBJETIVO.

CUADRO # 3

FORMA EN QUE QUEDAN CODIFICADOS LOS COEFICIENTES DE LAS EXPRESIONES MATEMATICAS DEL [illegible] LINEAL:CERDOS EN CRECIMIENTO.

| # DE LA ECUACION\X1 | | VARIABLES | | | | | | RESTRICCIONES |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | |
| 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 600 |
| 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | [illegible] | 0 | 0 | 0 | 600 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 600 |
| 5 | 0 | 0 | [illegible] | [illegible] | 1 | 0 | 0 | 0 | 250 |
| 8 | .115 | .088 | .600 | .090 | .440 | 0 | 0 | 0 | 180 |
| 12 | .0006 | .0001 | .0490 | .0002 | .0025 | .3380 | .2610 | 0 | 7 |
| 6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 970 |
| 7 | .115 | .088 | .600 | .090 | .440 | 0 | 0 | 0 | 180 |
| 9 | 2.805 | 3.300 | 2.640 | 3.135 | 3.245 | 0 | 0 | 0 | 3080 |
| 10 | .0035 | .0026 | 2.400 | .0022 | .0245 | 0 | 0 | .9500 | 7.6 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 11 | .0006 | .0001 | .0490 | .0002 | .0025 | .3380 | .2810 | 0 | 5.0 |
| 13 | .0036 | .0025 | .0280 | .0027 | .0360 | .0002 | .1987 | 0 | 5.0 |
| 1 | 1.50 | 2.40 | 6.00 | 1.80 | 5.20 | 1.20 | 1.50 | 97.75 | MINIMIZAR |

EN EL CUADRO # 3 PRESENTAMOS LOS COEFICIENTES DE LAS EXPRESIONES MATEMATICAS YA CODIFICADOS.PARA UTILIZAR LA COMPUTADORA PRIMERO LE DAMOS A ESTA LA CARACTERISTICAS DEL PROGRAMA QUE QUEREMOS QUE USE Y DESPUES LA INFORMACION DEL CUADRO # 3.

LA RACION BALANCEADA PARA CERDOS EN CRECIMIENTO QUE PROPORCIONO LA COMPUTADORA,MAS LOS INGREDIENTES QUE SE CONSIDERAN EN FORMA CONSTANTE SE PRESENTA EN EL CUADRO # 4.EN EL MISMO CUADRO SE PRESENTA EL APORTE QUE HACE CADA INGREDIENTE DE LOS NUTRIENTES CONSIDERADOS.

ASI MISMO SE PRESENTA EL COSTO CORRESPONDIENTE A LAS CANTIDADES DE CADA INGREDIENTE,EL COSTO DE LA RACION,Y AL PIE DEL CUADRO SE HACE COMPARACION DE LOS NUTRIENTES APORTADOS POR LA RACION Y LO QUE REQUIERE EL ANIMAL.

CUADRO # 4.

RACION DE CERDOS EN CRECIMIENTO FORMULADA POR PROGRAMACION LINEAL.

| ALIMENTOS | CANTIDAD KG | PROTEINA KG | ENERGIA M.MCAL | LISINA KG | CALCIO KG | FOSFORO KG | COSTO $ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MAIZ | 452.943 | 39.859 | 1494.7 | 1.178 | .045 | 1.132 | 1087.06 |
| H.DE PESCADO | 76.202 | 45.722 | 201.2 | 3.505 | 3.734 | 2.134 | 457.39 |
| SORGO | 337.995 | 30.420 | 1059.6 | .744 | .068 | .912 | 608.39 |
| SOYA | 100.000 | 44.000 | 324.5 | 2.880 | .250 | .600 | 520.00 |
| PIEDRA CALIZA | 1.747 | | | | .590 | | 2.10 |
| FOSFATO DICALCICO | 1.142 | | | | .312 | .221 | 1.67 |
| MINERAL TRAZA | 5.00 | | | | | | 225.00 |
| PREMEZCLA | 20.00 | | | | | | 150.00 |
| TOTAL | 999.999 | 160.000 | 3080.0 | 8.307 | 4.999 | 4.999 | 2855.84 |
| REQUERI\MIN | 1000.00 | 160.001 | 3080.0 | 7.800 | 5.000 | 5.000 | |
| MIENTOS\MAX | 1000.00 | 160.000 | | | 7.000 | | |

COMO SE PUEDE OBSERVARSE EN EL CUADRO # 4,LA RACION SATISFACE TODAS LAS RESTRICCIONES A LAS QUE SE SUJETO LA FUNCION OBJETIVO.

AHORA VEREMOS UNA APLICACION DE LA PROGRAMACION LINEAL EN LA COMPUTADORA . FORMULAREMOS UNA RACION PARA VACAS DE 500 KILOGRAMOS DE PESO Y 24 KILOGRAMOS DE LECHE POR DIA,PARA QUE SATISFAGA EL REQUERIMIENTO DE :PROTEINAS,FIBRA, ENERGIA METABOLIZABLE,CALCIO Y FOSFORO Y TENGA EL MENOR COSTO.NO IMPONDREMOS NINGUNA RESTRICCION DE NIVELES MAXIMOS AL CALCIO Y AL FOSFORO.

LOS ALIMENTOS QUE SE VAN UTILIZAR Y SU COMPOSICION EN BASE A MATERIA SECA EN LOS NUTRIENTES QUE SE SEÑALAN A CONTINUACION ,EL PRECIO SUPUESTO POR KILOGRAMO,Y LOS NIVELES MINIMOS Y MAXIMOS RECOMENDABLES,SE PRESENTAN EN EL SIGUIENTE CUADRO.

CUADRO # 5

ALIMENTOS LIMITES RECOMENDABLES,COMPOSICION NUTRITIVA Y PRECIO POR KILOGRAMO VACAS EN PRODUCCION.

| ALIMENTOS | LIMITES MIN*MAX KG | PROTEINAS KG | FIBRA KG | E.M MCAL | CALCIO KG | FOSFORO KG | PRECIO $ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ARROZ PULIDO X1 | 50 | .131 | .033 | 3.133 | .0004 | .0158 | 1.95 |
| CEBADA X2 | 250 | .430 | .056 | 2.883 | .0009 | .0047 | 1.50 |
| COCO,PASTA X3 | | .219 | .129 | 2.994 | .0022 | .0068 | 2.90 |
| LINAZA-HARI-X4 NA | | .388 | .099 | 3.011 | .0048 | .0098 | 3.90 |
| SORGO X5 | | .125 | .022 | 3.250 | .0004 | .0035 | 1.60 |
| MELAZA X6 | 40 | .041 | | 2.809 | .0090 | .0011 | .82 |
| PULPA DE X7 CITRICOS | | .074 | .146 | 3.047 | .0220 | .0013 | 1.75 |
| HENO | 600 | .152 | .280 | 2.130 | .0282 | .0036 | 1.35 |
| ENSILAJE DE X9 MAIZ | 600 | .099 | .290 | 2.054 | .0054 | .0034 | .98 |
| ROCA FOSFORO-RICA DESFLUORADA | | | | | .3310 | .1800 | 1.20 |

LOS REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LAS VACAS POR KILOGRAMO DE MATERIA SECA Y LOS NIVELES MINIMOS Y MAXIMOS,SE PRESENTAN EN EL SIGUIENTE CUADRO

CUADRO # 6.

REQUISITOS NUTRICIONALES QUE DEBE SATISFACER LA RACION (VACAS EN PRODUCCION).

---

```
                                                                       **
LIMITES     PROTEINAS      FIBRA       E.M       CALCIO      FOSFORO    SAL
                KG           KG        MCAL        KG           KG       KG
-------------------------------------------------------------------------
MINIMO        .150         .130       2.370      .0047        .0055     .0045

MAXIMO        .150         .200       2.650
-------------------------------------------------------------------------
```

** ESTE ALIMENTO NO SE CONSIDERA AL FORMULAR,PUESTO QUE LO PODEMOS CONSIDERAR CONSTANTE.POR TAL MOTIVO,AL FORMULAR UNA TONELADA SOLO SE CONSIDERA PARA BALANCEAR LOS DEMAS NUTRIENTES,995.5 KILOGRAMOS,Y A ESTA CANTIDAD SE LE AÑADE 4.5 KILOGRAMO DE SAL.

FUNCION OBJETIVO

```
MINIMIZAR C=1.35 X1 +1.50 X2 +2.90 X3 =3.90 X4 +1.80 X5 +.82 X6 +1.75 X7 +
               +1.35 X8 +.95 X9 . -------------------------------(14)
```

SUJETA A LAS RESTRICCIONES DEL CUADRO # 5.

```
          X1 =  50 ----------------------------------------------(15)
          X2 = 250 ----------------------------------------------(16)
          X6 =   0 ----------------------------------------------(17)
          X8 = 600 ----------------------------------------------(18)
          X9 = 500 ----------------------------------------------(19)
```

Y LAS RESTRICCIONES DEL CUADRO # 6.

```
X1 +X2 +X3 +X4 +X5 +X6 +X7 + X8 + X9 = 995.5   KG ------------------(20)
.131 X1+.130 X2+.219 X3+.388 X4+.125 X5+.041 X6+.074 X7+.152 X8+
                                   +.099 X9 >= 150 KG---------------(21)
.131 X1+.130 X2+.219 X3+.388 X4+.125 X5+.041 X6+.074 X7+.152 X8+
                                   +.099 X9 <= 150 KG---------------(22)
.033 X1+.056 X2+.129 X3+.099 X4+.022 X5+.146 X7+.280 X8+
                                   +.290 X9 >= 130 KG---------------(23)
.033 X1+.056 X2+.129 X3+.099 X4+.022 X5+.146 X7+.280 X8+
                                   +.290 X9 <= 200 KG---------------(24)
3.133 X1+2.883 X2+2.994 X3+3.011 X4+3.250 X5+2.809 X6 +3.047 X7+
                              +2.130 X8+2.054 X9<= 2300 MCAL---------(25)
3.133 X1+2.883 X2+2.994 X3+3.011 X4+3.250 X5+2.809 X6 +3.047 X7+
                              +2.130 X8+2.054 X9<= 2650 MCAL---------(26)
.0004 X1+.0047 X2+.0022 X3+.0046 X4+.0004 X5+.0090 X6+.0220 X7+
                              +.0252 X8+.0054 X9 >=4.7 KG ----------(27)
.158 X1+.0047 X2+.0066 X3+.0094 X4+.0035 X5+.0011 X6+.0013 X7+
                              +.0036 X8+.0034 X9 >= 3.5 KG ---------(28)
```

CUADRO # 7

CODIFICACION DE LAS EXPRESIONES MATEMATICAS(COEFICIENTES).
VACAS EN PRODUCCION.

```
--------------------------------------------------------------------
# DE LA                   VARIABLES                          RESTRIC-
```

| ECUACION | X1 | X2 | X3 | X4 | X5 | X6 | X7 | X8 | X9 | RESTRICCIONES. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | .131 | .130 | .219 | .358 | .125 | .041 | .074 | .152 | .099 | 150 |
| 24 | .033 | .055 | .124 | [illegible] | .022 | 0 | .146 | .280 | .290 | 200 |
| 26 | 3.133 | 2.833 | 2.994 | 3.011 | 3.250 | 2.809 | 3.047 | 2.130 | 2.054 | 2650 |
| 15 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50 |
| 16 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 250 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 40 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 600 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 600 |
| 20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 995.5 |
| 21 | .131 | .130 | .219 | .358 | .125 | .041 | .074 | .152 | .099 | 150 |
| 23 | .033 | .056 | .129 | .099 | .022 | 0 | .146 | .280 | .290 | 130 |
| 25 | 3.133 | 2.383 | 2.994 | 3.011 | 3.250 | 2.809 | 3.047 | 2.130 | 2.054 | 2300 |
| 27 | .0004 | .0009 | .0022 | .0048 | .0004 | .0090 | .0220 | .0252 | .0054 | 4.7 |
| 28 | .155 | .0017 | .0058 | .0098 | .0035 | .0011 | .0013 | .0036 | .0034 | 3.5 |
| 14 | 1.35 | 1.50 | 2.90 | 3.90 | 1.80 | .82 | 1.75 | 1.35 | .98 | MIN. |

CUADRO # 8

RACION PARA VACAS LACTANTES FORMULADA POR PROGRAMACION LINEAL (24 KG DE LECHE POR DIA Y 500 KG DE PESO).

| ALIMENTO | CANTIDAD KG | PROTEINA KG | FIBRA KG | ENERGIA M. MCAL | CALCIO KG | FOSFORO KG | COSTO TON. $ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ARROZ PULIDO | 50 | 6.550 | 1.650 | 156.650 | .020 | .790 | 67.50 |
| CEBADA | 250 | 32.500 | 14.000 | 720.750 | .225 | 1.175 | 375.00 |
| LINAZA | 38.400 | 14.594 | 5.302 | 115.623 | .184 | .376 | 149.76 |
| MELAZA | 13.830 | .567 | ---- | 38.847 | .124 | .015 | 11.34 |
| HENO | 600.000 | 91.200 | 168.000 | 1278.000 | 15.120 | 2.160 | 810.00 |
| ENSILAJE | 43.270 | 4.284 | 12.548 | 88.877 | .234 | .147 | 42.40 |
| SAL | 4.500 | ---- | ---- | ---- | --- | --- | ---- |
| TOTAL | 1000.000 | 150.000 | 200.000 | 2398.747 | 15.907 | 4.663 | 1456.00 |
| REQUERIMIENTO | | | | | | | |
| MAXIMO | | 150.000 | 200.000 | 2650.000 | --- | --- | --- |
| MINIMO | | 130.000 | 130.000 | 2300.000 | 4.700 | 3.500 | --- |

DEL PROCESAMIENTO DE LOS DATOS CODIFICADOS (CUADRO # 7 ) LA COMPUTADORA NOS PROPORCIONO LA RACION QUE SE ANOTA EN EL CUADRO # 8.

COMO PODEMOS OBSERVAR, LOS NIVELES DE CALCIO Y FOSFORO SON SUPERIORES AL REQUERIMIENTO MINIMO, SOBRE TODO LA CANTIDAD DEL PRIMER ELEMENTO MINERAL; ESTO ES LO QUE SUCEDE CUANDO NO SE IMPONE NINGUNA RESTRICCION AL NIVEL MAXIMO.

# 5. CONCLUSIONES

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo a lo expuesto en los capítulos anteriores, es posible considerar las siguientes conclusiones:

5.1 En la época actual se presentan problemas que están intimamente relacionados con el Sector Agropecuario, como son: El pésimo estado de las vías de comunicación, Ineficiente sistema de transporte, Pésimos canales de distribución (intermediarios), Pocas fuentes de créditos para los agricultores, Ganaderos, Porcicultores, Avicultores, etc.

El apoyo al Sector Agropecuario debe ser constante, de tendencia ascendente y planificado. Es decir una mayor participación del estado en todo el proceso productivo, así como en la distribución de la producción, participando también en el abastecimiento de las necesidades del Sector Agropecuario, materias primas, créditos, maquinaria, herramientas, etc.

De tal manera que mediante esto se logre un desarrollo integral del Sector Agropecuario, y. Asímismo, obtener un desarrollo económico - nacional con bases más firmes.

5.2 En éste trabajo nos dirigimos únicamente a la técnica de Programación Lineal que, como se explicó , nos sirve para determinar la combinación óptima de recursos limitados para obtener una meta deseada. Se basa en la suposición de que existe una relación lineal entre las variables, y que los límites de variación se pueden determinar. Por tanto, ésta técnica es especialmente útil donde los datos de insumos pueden cuantificarse y los objetivos pueden sujetarse a medidas definitivas.

## LIMITACIONES DE LA PROGRAMACION LINEAL

Cómo se podría esperar, la técnica de Programación Lineal ha tenido su uso en áreas problemáticas tales como la planeación de la producción, costos, etc.

Sin embargo, no se deben menospreciar las limitaciones de la Programación Lineal, palpándose claramente en el problema de la aplicación en el Sector Agropecuario tratado en el capítulo IV. A continuación citaremos algunas limitaciones usuales de la Programación Lineal.

En primer lugar, se enfrenta con la gran magnitud de los aspectos matemáticos y de cálculo. El número de variables e interrelaciones en muchos problemas puede ser además de las complejidades de las relaciones y reacciones humanas, aparentemente indican matemáticas de orden mayor.

Como contraparte de esta limitante, el hombre ha desarrollado aún más - los modelos hasta hacerlos simples y de fácil solución, (tal es el caso del método simplex), además ha utilizado las computadoras electrónicas que pueden, ahora, analizar los resultados posibles de miles de alternativas. Pero las relaciones y reacciones humanas aún con estos adelantos, no es fácil predecirlas o calcularlas.

Por último, es necesario aclarar que este trabajo no pretende (y no es el objetivo) tratar todos los problemas implícitos que contiene la Programación Lineal, sino dar los elementos básicos de ésta técnica como una herramienta en cualquier campo donde se requiera optimizar los recursos de un determinado sistema.

Se recomienda que, al leer la parte relacionada con el Método Simplex, - previamente se tengan algunos conocimientos de matrices y de Algebra Lineal. Además, ya como última recomendación, se sugiere que este trabajo puede ser ampliado y enriquecido con los temas relacionados con Dualidad, Análisis de Sensibilidad y Programación paramétrica.

# "BIBLIOGRAFIA"

# "BIBLIOGRAFIA"


1. "APLICACION DE LA COMPUTACION A LA INGENIERIA DE SISTEMAS".
MURRAY-LASSO M. A. Y J. M. SOTOMAYOR
Revista Ingeniería, UNAM. Vol. XLIV, Núm. 3.
México, 1974.

2. "APUNTES DE INGENIERIA DE SISTEMAS"
FACULTAD DE INGENIERIA, UNAM

3. "CONGRESO DE SOCIOLOGIA RURAL". Tres Tomos
México, 1978.

4. "EL DESARROLLO AGROINDUSTRIAL Y LA ECONOMIA CAMPESINA"
Documentos de trabajo para el desarrollo agroindústrial 2.
Ed. SARH
México, 1979.

5. "EL SUBDESARROLLO LATINOAMERICANO Y LA TEORIA DEL DESARROLLO"
Ed. Siglo XXI
México, 1980.

6. "ELEMENTOS DE INGENIERIA DE SISTEMAS INDUSTRIALES"
RAYMOND N. B. LAIV Y C. WILSON WHITSTON

7. "ESTUDIO DE LA PRODUCTIVIDAD"
CENAPRO
Ed. CENAPRO
México, 1978

8. EXAMEN DE LA SITUACION ECONOMICA DE MEXICO, 1976
Ed. BANAMEX
México, 1976

9. "FUNDAMENTOS DE INVESTIGACION DE OPERACIONES"
Ed. Limusa-Wiley L. ACKOFF AND W. SASIENI
México, 1971

10. "INGENIERIA DE SISTEMAS"
ARTHUR D. HALL
C.E.C.S.A.

11. "INTRODUCCION AL ANALISIS DE SISTEMAS E INVESTIGACION DE OPERACIONES".
VICTOR GERES, VERONICA CZITRON

12. "INTRODUCCION A LA INGENIERIA INDUSTRIAL Y CIENCIAS DE LA ADMINISTRACION"
PHILIP E HICKS

13. "LA AGRICULTURA DE MEXICO DE 1950-1979". El fracaso de una falsa analogía.
Revista de Comercio Exterior. Vol. 25, Núm. 12
México, diciembre de 1975.

14. "LA INGENIERIA DE SISTEMAS"
CARDENAS, MIGUEL
Ed. Limusa
México, 1978

15. OVACIONES, EL HERALDO, EL SOL DE MEXICO, EL UNIVERSAL Y EL EXCELSIOR
ARTICULOS PERIODISTICOS
ACKOFF, RUSELL L. Y MAURICE W. SASIENI.

16. "PRODUCTIVIDAD Y DESARROLLO", VOL. 1 y 2
CORREA, HECTOR
México, 1977, Edit. CENAPRO

17. "PROGRAMA NACIONAL DE ALIMENTACION"
PODER EJECUTIVO FEDERAL
1983-1988

18. "PROGRAMA LINEAL Y FLUJO DE REDES"
BAZARAA MOKHTAR S. Y JOHN J. JARVIS
Ed. Limusa
México, 1981

CONOTECNIA NACIONAL

TOR AGROPECUARIO (ASPECTOS METODOLOGICOS DE LA PROGRAMACION)"
SECRETARIA DE LA PRESIDENCIA
Ed. Coordinación de Programación
México, 1976