Es cierto que los demás condicionantes obligan la inclusión de otros materiales para satisfacerlos, pero también lo es que al no existir, por lo menos en este ejemplo, un condicionante sobre la sal, es riesgoso dejar el límite superior libre. Lo más aconsejable es utilizar como límite superior, el límite superior del umbral sensible de la sal.

De acuerdo con ello:
$100M22 + 93M23 + 50M24 \leq 2800$ pero como M23 está ya determinado con valor fijo, de acuerdo con la relación (8), entonces, $100M22 + 50M24 \leq 2800 - 30.99$, es decir,

Relación (21)
$100M22 + 50M24 \leq 2769$
Las restricciones correspondientes a las relaciones entre las carnes y las fuentes de grasa se construyen así:

Que por lo menos el 30% de la carne sea de cerdo, quiere decir: la carne de cerdo en la fórmula/ carne total en la fórmula = 0.3, o de otra forma.

Carne de cerdo en la fórmula - 0.3 ( carne total en la fórmula ) ≥ 0. Reemplzando se obtiene:

$$M8 + M9 + M10 + M11 + M12 - 0.3 ( M1 + M2 + M3 + M4 + M5 + M6 + M8 + M9 + M10 + M11 + M12 ) \geq 0$$

Quedando la relación (22)

$$0.3M1 + 0.3M2 + 0.3M3 + 0.3M4 + 0.3M4 + 0.3M5 + 0.3M6 - 0.7M8 - 0.7M9 - 0.7M10 - 0.7M11 - 0.7M12 \leq 0$$

la restricción relativa a la grasa se plantea de forma similar:
Grasa de cerdo/ grasa total ≥ 0.5, es decir,

grasa decerdo - 0.5 ( grasa total ) ≥ 0.
Reemplazando se obtiene:

100M + 80M8 + 70M9 + 15M10 + 25M11 + 50M12 - 0.5 ( 8M1 + 10M2 + 15M3 + 55M4 + 12M5 + 21M6 + 100M7 + 80M8 + 70M9 + 15M10 + 25M11 + 50M12 + 100M13 + 25M14 + 22.21M15 + 0.57M16 + 0.78M17 + M18 + 0.6M19 ) ≥ 0

Realizando las operaciones indicadas obtenemos la relación (23)
4M1 + 5M2 + 7.5M3 + 27.5M4 + 6M5 + 10.5M6 - 50M7 - 40M8 - 35M9 - 7.5M10 - 12.5M11 - 25M12 + 100M13 + 12.5M14 + 11.10M15 + 0.28M16 + 0.39M17 + 0.5M18 + 0.3M19 ≤ 0

Esta relación completa los condicionamientos explícitamente señalados. Sin embargo, el condimento comercial M24 aún no se ha restringido.

Un porcentaje importante de la caracterización de los productos en el mercado se debe al condimento usado, la composición del mismo y su dosificación. Con fines del planteamiento del problema como ejemplo, se supondrá que se utilizará condimento comercial de salchicha, el cual simplemente comunicará al producto un sabor que el consumidor identifica como de salchicha, sin ser algo especial.

La dosificación de estos condimentos en los diferentes productos obedece a estudios sistemáticos, bien sea mediante páneles de degustación con un cuerpo de jueces debidamente entrenados o por encuestas de opinión. Independiente del método empleado, se supondrá, con fines de ilustrar el ejemplo, una dosificación del 1%.

De acuerdo con ello, se obtiene la relación (24)

M24 = 1

La relación (24) puede, si se considera pertinente modificar la relación (21), reemplazando M24 por su igual. Si se decide hacerlo, será, prácticamente un término menos en el momento de realizar las operaciones matemáticas que implica el método de solución.

En este ejemplo no se presentó el caso de restringir el uso de la proteína vegetal sobre la proteina total adicionada. En muchos productos se requiere esta restricción, porque de no ser así la solución al problema podría conducir a usar los niveles máximos permitidos en cada una de las presentaciones, lo que indudablemente conduciría a obtener un producto de baja calidad sensorial y de difícil manejo industrial y comercial.

La restricción a este respecto normalmente está dirigida a establecer un nivel máximo de proteina vegetal, algunas veces extendido a proteínas no miofibrilares, en el producto a elaborar.

Para proceder a plantear la sujeción, se fija un límite mediante un estudio sistemático, procediendo a establecer la realación entre materiales o componentes, tal como se realizó con la grasa.
El problema de la formulación de productos, como el que se acaba de plantear, se ajusta perfectamente al problema general de programación lineal, donde se plantea:

Optimizar Z: $\sum_{j=1}^{n} C_j X_j$

Sujeto a: $\sum_{j=1}^{n} Y_{i,j} \cdot X_j \leq b_i, \quad i = 1,2,3,\ldots,m$

y $X_j \geq 0, \quad j = 1,2,3,\ldots,n$

Pudiéndose usar para la obtención de la solución, todos los procedimientos que para tal fin ha desarrollado la programación lineal.

El procedimiento general de solución se fundamenta en la inversión de matrices, Restrepo, 1987, pero a pesar de lo sencillo de sus operaciones es largo, tedioso y en la medida que los problemas son largos, la posibilidad de cometer errores es alta, habiéndose desarrollado programas de computación que permiten su solución. Restrepo (1990a). La Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia posee el programa LINDO ( Linear Interactive Discrete Optimizer), el cual es un producto de la compañia LINDO SYSTEMS INC., de los Estados Unidos de Norteamérica, este programa permite resolver en forma interactiva problemas de programación lineal. (Tabares 1.98_).

El uso correcto del programa está descrito en la bibliografia Tabares, 1.98_, de tal manera que solo resta seguir las instrucciones una vez se tenga el problema correctamente planteado.

Cuando una o un grupo de restricciones presentan en sus variables coeficientes muy pequeños comparados con los coeficientes de las restantes, el planteamiento del problema es calificado como pobremente escalonado, debiéndose multiplicar por un factor apropiado a ambos lados de las restricciones que presentan esta característica; es por esto que en el planteamiento del problema se usaron factores que impedirán la aparición de coeficientes definitivos muy pequeños.

Debe entregarse la información a la máquina (computador) de la siguiente manera:

1. Digitar la función objetivo.
2. Digitar cada una de las sujeciones.
3. Finalizar la información y correr el programa.

Si el problema está correctamente planteado y correctamente digitado, aparecerá uno o varios " pantallazos " de respuesta con el siguiente orden:

LP OPTIMUM FOUND AT STEP i
(PL óptimo encontrado en el paso i).

OBJETIVE FUNCTION VALUE
(Valor de la función objetivo )

| VARIABLE (variable) | VALUE (valor) | REDUCED COST (costo reducido) |
|---|---|---|
| M1 | a | |
| M2 | b | |
| ¦ | | |
| ¦ | | |
| Mn | z | |

| ROW (fila) | SLACK (holgura) | DUAL PRICES (precios duales) |
|---|---|---|
| 2 | | |
| 3 | | |
| ¦ | ¦ | ¦ |
| ¦ | ¦ | ¦ |
| m + 1 | | |

No. INTERATIONS = i
(No. de interacciones = i)
DO RANGE (SENSITIVITY) ANALYSIS ?
( hacer análisis de rango ? ).

En principio es de mayor interés la **información inicial:** valor de la función objetivo y valor de la **variable.**
Valor de la función objetivo.

Significa que se ha encontrado la combinación de materiales, dentro de las posibilidades existentes, que cumple con todas las restricciones y que hace la función objetivo óptima (minimizar costos), y que su valor es xxx.

Esto prácticamente quiere decir que la mejor combinación posible de materiales para fabricar el producto, es la que se presenta y que elaborar la base de cálculo, 100 Kg, cuesta lo que vale la función objetivo, xxx, es decir, 1 Kg de producto fresco cuesta xxx/100 y de producto terminado, con base en materia prima e insumos, cuesta xxx/90, si se refiere al problema del ejemplo.

Además la combinación óptima de materiales es M1 = a Kg, M2 = b Kg, ----, Mn = z Kg.

Ejemplo:

Se debe fabricar mortadela a partir de los siguientes materiales.

| MATERIAL | | | | PRECIO $/Kg |
|---|---|---|---|---|
| M1 | Bovino | 8/92 | | 1.300 |
| M2 | Bovino | 10/90 | | 1.300 |
| M3 | " | Canillada | 15/85 | 600 |
| M4 | " | falda | 55/45 | 1.100 |
| M5 | " | lagarto | 12/88 | 1.100 |
| M6 | Cerdo | grasa | 80/20 | 900 |
| M7 | " | papada | 70/30 | 1.100 |
| M8 | " | pierna | 15/85 | 1.600 |
| M9 | " | recortes | 25/75 | 600 |

| MATERIAL | PRECIO $/Kg |
|---|---|
| M10 Cerdo cortes varios 50/50 | 500 |
| M11 Harina de trigo | 250 |
| M12 Sal de nitrito | 256 |
| M13 Ascorbato | 982 |
| M14 Sal | 130 |
| M15 Condimento comercial | 1.400 |
| M16 Fosfato | 1.445 |
| M17 Agua | 10 |
| M18 Ailado de soya | 3.400 |

Condicionantes:

1. Pérdidas esperadas 5.5%
2. 1.8 ≤ grasa/proteína ≤ 1.9
3. 4.4 ≤ agua/proteína ≤ 4.5
4. 2.13 ≤ sal ≤ 2.2

Planteamiento:

1. Min:

1300M1 + 1300M2 + 600M3 + 1200M4 + 1200M5 + 1000M6 + 1400M7 + 1600M8 + 600M9 + 500M10 + 250M11 + 256M12 + 982M13 + 130M14 + 1400M15 + 1445M16 + 10M17 + 3400M18

2. Proteína:

20.8M1 + 19.5M2 + 18.3M3 + 9.9M4 + 16.8M5 + 4.2M6 + 6.3M7 + 17.8M8 + 15.8M9 + 9.5M10 + 90M18 ≥ 1134

3. Grasa:

8M1 + 10M2 + 15M3 + 55M4 + 12M5 + 80M6 + 70M7 + 15M8 + 25M9 + 50M10 + 0.5M18 ≤ 2646

4. Humedad:

70.2M1 + 69.5M2 + 65.7M3 + 34.1M4 + 70.2M5 + 14.8M6 + 22.7M7 + 66.2M8 + 58.2M9 + 39.2M10 + 100M17 +

UNIVERSIDAD NACIONAL DE

$6M18 \leq 6331.5$

5. Sal:

$93M12 + 100M14 + 50M15 \leq 1$

6. $93M12 + 100M14 + 50M15 \geq 214$

7. Grasa/proteina $\leq 1.9$

$31.52M1 + 27.05M2 + 19.77M3 - 36.19M4 + 19.92M5 - 72.02M6 - 58.03M7 + 18.82M8 + 5.02M9 - 31.95M10 + 170.56M18 \geq 0$

8. Grasa/proteina $\geq 1.8$

$29.44M1 + 25.1M2 + 17.94M3 - 33.18M4 + 18.24M5 - 72.44M6 - 58.66M7 + 17.04M8 + 3.44M9 - 32.9M10 + 161.5M18 \leq 0$

9. Humedad/proteina $\leq 4.5$

$23.4M1 + 18.25M2 + 16.65M3 + 10.45M4 + 5.4M5 + 4.1M6 + 5.65M7 + 13.9M8 + 12.9M9 + 3.55M10 - 100M17 399M18 \geq 0$

10. Humedad/proteina $\geq 4.4$

$21.32M1 + 16.3M2 + 14.82M3 + 9.46M4 + 3.72M5 + 3.68M6 + 5.02M7 + 12.12M8 + 11.32M9 + 2.6M10 - 100M17 + 390M18 \leq 0$

11. Harinas:

$M11 \leq 5$

12. Nitrito de sodio (sal comercial):

$100M12 = 33$

13. Ascorbatos:

$100m13 = 5$

14. Condimento comercial: $M_{15} = 1$

15. Polifosfatos:
10M16 : 5

16. Aislado de soya:
M18 : 2
17. Base de cálculo:
M1 + M2 +------+ M18 = 100

Respuesta.
Pl óptimo encontrado en el peso 22 (requirió 22 tableros). Restrepo (1987).

Valor de función objetivo: $ 51.554.55 (para 100 kg de masa cruda, siendo el costo de los materiales por kg de producto terminado $ 545.55).

Valores de cada variable:
M3: 39.11758 kg ( carrillada bovino 15/85 )
M10: 34.87807 kg ( recortes varios 50/50 )
M11: 5.00000 kg ( harina de trigo )
M12: 0.33000 kg ( sal comercial de nitrito )
M13 0.05000 kg ( ascorbato de sodio )
M14: 1.39310 kg ( sal-NaCl- )
M15: 1.00000 kg ( condimento comercial )
M16: 0.50000 kg ( polifosfatos )
M17: 15.73125 kg ( hielo )
M18: 2.00000 kg ( aislado de soya )

Cuando se van a plantear restricciones al problema de formulación debe tenerse presente no plantear restricciones mutuamente excluyentes, porque en el momento de resolverlas, el problema no tendrá solución.

Uno de los problemas más comunes al plantear resultados es no tener en cuenta la dependencia existente entre las

variables sal, humedad, proteina, grasa, cuando se plantean independientemente. Un ejemplo que ilustre esta situación es el siguiente:

Elaborar un producto emulsificado cocido con una relación grasa/proteina : 2.4.
En el momento de establecer las restricciones recurrimos a la norma INCOTEC 1325, que para productos cocidos presenta más requerimientos de proteina mínimo del 12% y de grasa máximo 28% de tal manera que es imposible satisfacer éstos dos condicionantes y el de su relación simultáneamente.

# 6. EMPAQUETAMIENTO

## 6.1. INTRODUCCION.

La técnica más utilizada actualmente como complemento a los diferentes métodos de conservación de alimentos lo constituye el poder aislar físicamente del ambiente circundante, generalmente nocivo, los productos obtenidos mediante procesos transformativos grado uno y dos. (ASOCIACION NACIONAL DE INDUSTRIALRS, (ANDI) INSTITUTO DE INVESTIGACIONES TECNOLOGICAS (I.I.T.) Y FONDO DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS Y PROYECTOS ESPECIALES "FRANCISCO JOSE DE CALDAS" (COLCIENCIAS) 1.984, Draper 1.984).

Aparte de esta función primordial, un empaque debe permitir la obtención de unidades apropiadas para ser vendidas, mantenimiento de condiciones higiénicas del producto, tanto en su comercialización como en almacenamiento, así como de sus características particulares y brindar la posibilidad de ofrecer un artículo de marca estandarizado, gracias a la presentación comercial. (Effenberger y Schatte 1.972).

Las características del empaque deben elegirse (elección del material), considerando si el empaque estará o no en contacto directo con el producto, llamándose primario o secundario según el caso.

Como **características esenciales** de los empaques primarios se consideran la ausencia de sustancias tóxicas y su compatibilidad con el alimento que contienen, de tal manera que no interactúen con él o le comuniquen características indeseables.

El empaque secundario, normalmente se usa con el fin de conferirle características de resistencia físico-mecánica que permiten el almacenamiento y la impresión. (ANDI - IIT - COCIENCIAS 1.984, Draper 1.984, Draper 1.984)

Los productos cárnicos trasformados en grado uno, no tienen otro tratamiento diferente al de corte y eventualmente refrigeración. Debido a las características de perecibilidad y que el empaque como máximo puede aislar el alimento del entorno, conservando sus características pero no mejorándoselas, la contaminación propia del producto asociada al proceso de obtención, no permite almacenarlos en buenas condiciones por periodos de tiempo prolongados. (Draper 1.984).

En general, los primeros cambios indeseables asociados con la carne en estado fresco, tienen que ver con los cambios de coloración y la pérdida de humedad. En la carne bovina y porcina, el color atractivo rojo brillante, se transforma en un color marrón producto de la oxidación del hierro en el asiento reactivo de la molécula de mioglobina, formándose la metamioglobina. También es evidente la resecación que sufre la cara que queda expuesta al ambiente, concentrando el pigmento de mioglobina, haciendo aparecer la carne de un color más intenso y desagradable. (Forrest et al 1.979).

Las carnes de mayor contenido graso son propensas a presentar olores y sabores desagradables característicos

de la rancidez.

Para las canales de aves estos cambios indeseables sobrevienen más rápidamente que en el bovino y en el porcino: cambios de coloración y producción de olores desagradables son comunes en canales de aves recien faenadas. (Price et al 1.976, Forrest et al 1.979, ANDI - IIT - COLCIENCIAS 1.984).

Las grasas de pollo son muy susceptibles a la oxidación debido a su composición, donde existe mayor proporción de ácidos grasos insaturados, haciéndola más propensa a la rancidez. Presentan también, estas carnes, una marcada tendencia a absorber olores y sabores extraños aún en refrigeración. (Price et al 1.976, Gartz 1.987).

Todos estos cambios en la calidad del producto están asociados a la presencia de oxígeno, a las radiaciones ultravioletas y al incremento de temperatura, que en último término, es la condición que acelera estas reacciones. (Levenspiel 1.978).

Las características de la carne de pescado, de alguna manera similares a las anteriores, presenta unas condiciones mucho más severas respecto de la pérdida de calidad por incrementos relativamente leves de temperatura y por presencia de oxígeno, básicamente, manifestándose en características como textura, olor, consistencia y sabores extraños. (Clucas 1.981).

Para la mayoría de estos tipos de carne se utilizan materiales como el polietileno, poliestireno, el pvc (polivinilcloruro), estructuras flexibles de pvdc-pvc, polipropileno y celofanes cubiertos por una cara con nitrocelosa; los cuales presentan características de transpa-