

**ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO DE LA EFECTIVIDAD DEL PLAN ANUAL DE
NUTRICIÓN EN LOS NIÑOS Y NIÑAS DE LA COMUNA RÍO OTÚN
DE LA CIUDAD DE PEREIRA 2008 - 2011 MEDIANTE
UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN**

CARLOS ENRIQUE CASTRILLÓN CASTAÑO

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA Y ESTADÍSTICA
PEREIRA, 2014**

**ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO DE LA EFECTIVIDAD DEL PLAN ANUAL DE
NUTRICIÓN EN LOS NIÑOS Y NIÑAS DE LA COMUNA RÍO OTÚN
DE LA CIUDAD DE PEREIRA 2008 - 2011 MEDIANTE
UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN**

CARLOS ENRIQUE CASTRILLÓN CASTAÑO

**Proyecto de grado para optar el título de
Magister en Investigación Operativa y Estadística**

Director

PhD. JOSÉ ADALBERTO SOTO MEJÍA

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA Y ESTADÍSTICA
PEREIRA, 2014**

"Dedico este proyecto a Dios por ser quien ha estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para seguir adelante, rompiendo las barreras que se me presenten. A mi madre, mi esposa e hijos por el apoyo y entrega que me han brindado estos años de completa alegría y triunfos".

Carlos Enrique.

AGRADECIMIENTOS A:

Mi esposa y mis hijos por su apoyo incondicional.

Mi madre y mis familiares por su compañía durante la vida.

Mis amigos por su acompañamiento y ayuda permanente.

Mis profesores y amigos de la maestría en Investigación Operativa y Estadística de la Universidad Tecnológica de Pereira por su aporte y conocimientos en su labor.

Mi Director de Trabajo de Grado, PhD. José Adalberto Soto Mejía por su valiosa dedicación y apoyo.

CONTENIDO

1. ANTECEDENTES	14
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
2.3 SISTEMATIZACIÓN.....	17
3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
3.1 OBJETIVO GENERAL	19
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4. JUSTIFICACIÓN	20
5. MARCO DE REFERENCIA.....	22
5.1 ESTADO DEL ARTE	22
5.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	72
5.3 MARCO LEGAL	75
6. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS	77
6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	77
6.2 TIPO DE METODOLOGÍA	77
6.3 VARIABLES E INDICADORES DE INVESTIGACIÓN	78
6.4 HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS	78
7. METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA EL ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO DE LA EFECTIVIDAD DEL PLAN ANUAL DE NUTRICIÓN EN LOS NIÑOS Y NIÑAS DE LA COMUNA RÍO OTÚNDE LA CIUDAD DE PEREIRA 2008 - 2011	82

7.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS ACCIONES ALIMENTARIAS, LLEVADAS A CABO EN EL COMUNA RÍO OTÚN POR EL PLAN ANUAL DE NUTRICIÓN DE LA ALCALDÍA DE PEREIRA DURANTE LOS AÑOS 2008 - 2011, MEDIANTE LA REALIZACIÓN DE ENCUESTAS ESTRUCTURADAS.....	83
7.2 ELABORACIÓN DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA PARA EL PLAN ANUAL DE NUTRICIÓN DE LA COMUNA DEL RIO OTÚN EN LA CIUDAD DE PEREIRA EN LA VIGENCIA 2008-2011.....	101
7.3 DESCRIPCIÓN DEL PLAN ANUAL DE NUTRICIÓN OBJETO DE ESTUDIO	104
7.4 PARÁMETROS DE ENTRADA DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN OBJETO DE ESTUDIO	104
7.5 SUBPROBLEMA 1: MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE ALIMENTO NUTRITIVO Y LA ASIGNACIÓN DE RECURSOS DE IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES NUTRICIONALES Y TAMIZAJES NUTRICIONALES.	111
7.6 SUBPROBLEMA 2: MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA ASIGNACIÓN DE HORARIOS PARA LA REALIZACIÓN DE SEGUIMIENTOS AL PLAN ANUAL DE NUTRICIÓN Y LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS, LAS IDENTIFICACIONES DE NECESIDADES NUTRICIONALES Y LOS TAMIZAJES NUTRICIONALES A LOS NIÑOS Y NIÑAS.	132
7.7 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DESARROLLO DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN	145
8. CONCLUSIONES	152
9. RECOMENDACIONES	154
9.1 TRABAJOS FUTUROS	154
10. BIBLIOGRAFÍA.....	155
11. GLOSARIO.....	158

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.Requerimientos nutricionales para infantes de 2 a 4 años. Fuente: Abate, 2010	24
Tabla 2. Aporte nutricional y costos de los menús. Fuente: Abate, 2010	26
Tabla 3. Informe de respuestas menú 1. Fuente: Abate, 2010	28
Tabla 4. Costos de los menús optimizados. Fuente: Abate, 2010.....	29
Tabla 5. Análisis comparativo de Resultados. Fuente: Abate, 2010	29
Tabla 6. Dieta Básica Experimental para Gallinas de Producción de huevos. Fuente: Galindo, 2007	46
Tabla 7. Formulaciones para el estudio de caso. Fuente: Galindo, 2007.....	47
Tabla 8. Disponibilidad y precio nutrientes. Fuente: Galindo, 2007.....	48
Tabla 11. Número de personas en el hogar de los niños y niñas pertenecientes al PAN de la Comuna Río Otún.	84
Tabla 12. Número de niños y niñas pertenecientes al PAN de la Comuna Río Otún.	85
Tabla 13. Edades de los niños y niñas pertenecientes al PAN de la Comuna Río Otún	86
Tabla 14. Fuente de conocimiento del PAN de los niños y niñas de la Comuna Río Otún	88
Tabla 15. Medio de ingreso de los niños y niñas al PAN de la Comuna Río Otún	89
Tabla 16. Número de años de permanencia de los niños y niñas en el PAN de la Comuna Río Otún	90
Tabla 17. Número de raciones recibidas diariamente por los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún.....	91
Tabla 18. Número de visitas del personal de la Alcaldía recibidas por los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún	92
Tabla 19. Aprobación de la forma de distribución de los alimentos a los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún	93

Tabla 20. Aprobación de la entrega de alimentos de manera ágil y respetuosa a los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún	94
Tabla 21. Recibo de alimentos en buenas condiciones por parte de los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún	95
Tabla 22. Estado de satisfacción con los alimentos entregados a los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún.....	96
Tabla 23. Mejoramiento de la nutrición de los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún	97
Tabla 24. Gusto por los alimentos de los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún	98
Tabla 25. Sugerencias de los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún.....	99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Grado de aceptación nuevo plan nutricional	30
Figura 2. Formulación problema Solver de EXCEL. Fuente: Galindo, 2007	48
Figura 3. Modelo de solución por Solver de EXCEL. Fuente: Galindo, 2007	49
Figura 4. Solución por MathCAD®. Fuente: Galindo, 2007	49
Figura 5. Solución por Mathematica 5.1®. Fuente: Galindo, 2007	50
Figura 6. TBK-Mo model. Tomada de The Journal of Nutrition, 2006	65
Figura 7. Número de personas en el hogar de los niños y niñas pertenecientes al PAN de la Comuna Río Otún.	84
Figura 8. Número de niños y niñas pertenecientes al PAN de la Comuna Río Otún.	85
Figura 9. Edades de los niños y niñas pertenecientes al PAN de la Comuna Río Otún	87
Figura 10. Fuente de conocimiento del PAN de los niños y niñas de la Comuna Río Otún	88
Figura 11. Medio de ingreso de los niños y niñas al PAN de la Comuna Río Otún	89
Figura 12. Número de años de permanencia de los niños y niñas en el PAN de la Comuna Río Otún	90
Figura 13. Cantidad de alimentos recibidos diariamente por los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún	91
Figura 14. Número de visitas del personal de la Alcaldía recibidas por los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún	92
Figura 15. Forma de distribución de los alimentos a los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún	93
Figura 16. Entrega de alimentos de manera ágil y respetuosa a los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún.....	94
Figura 17. Recibo de alimentos en buenas condiciones por parte de los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún	95

Figura 18. Estado de satisfacción con los alimentos entregados a los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún	96
Figura 19. Mejoramiento de la nutrición de los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún	97
Figura 20. Gusto por los alimentos de los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún	98
Figura 21. Sugerencias de los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún ..	100
Figura 22. Modelo de optimización.....	103

RESUMEN

Se realizó un modelo de programación lineal entera para optimizar los costos asociados al plan de nutrición anual de la comuna del río Otón en la ciudad de Pereira sometida a restricciones de disponibilidad de recursos y limitantes de la contratación del Plan. Este modelo se subdividió en dos subproblemas: el primero busca la disminución de los costos de alimentación de acuerdo al tipo de necesidad nutricional y el segundo busca realizar la mejor asignación de horarios de elaboración de dichas raciones. Al resolver este modelo utilizando el software GAMS se obtuvo una disminución en el costo total del programa del 13%

Palabras clave—Optimización, Programación lineal entera, raciones alimenticias, Asignación de recursos.

Abstract— A model of integer linear programming was performed to optimize the costs associated with annual nutrition plan in the commune of the Otun River in the city of Pereira subjected to restrictions of availability of resources and limiting hiring Plan. This model is subdivided into two subproblems: The first seeks to reduce feed costs by type of nutritional needs and the second looks for the best allocation of hours to develop such portions. By solving this model using the GAMS software was obtained a decrease in the total program of cost 13%

Key Word — Optimization, integer linear programming, food rations, Resource allocation.

INTRODUCCION

De acuerdo a un estudio realizado por la Universidad Tecnológica de Pereira (Ocampo et al, 2013), reveló que en Pereira existen problemas nutricionales graves en niños, niñas y adolescentes. Dichos problemas están representados principalmente por desnutrición aguda y crónica. La administración municipal de Pereira la declaró como un problema de salud pública y tomó medidas en cuanto a la recuperación nutricional mediante la aplicación de planes de alimentación y nutrición que, a principios de 2005, se extendió a todos los municipios de Risaralda.

La primera intervención consistía en la recuperación de los niños con desnutrición crónica y aguda; ésta última con una prevalencia del 17,7%. Dentro de la recuperación nutricional, la población recibe un almuerzo de 670 kilocalorías en promedio, reforzado con 50 gramos de soya. Además, los niños son orientados en hábitos higiénicos y las madres asisten a una reunión mensual sobre educación nutricional. Paralelo a las acciones de atención, la Alcaldía implementa el programa “Niños en riesgo social de desnutrición”, dirigido a la población infantil que, a pesar de estar en condiciones normales, presenta en su grupo familiar una serie de determinantes sociales y económicos que los hacen altamente susceptibles.

Las intervenciones anteriormente mencionadas requieren una inversión importante de recursos del presupuesto del municipio, los cuales podrían ser invertidos de una manera óptima para beneficiar a una mayor cantidad de niños. Para esto se hace necesario determinar la forma más adecuada de asignación de recursos. Los modelos de investigación de operaciones permiten optimizar los costos asociados al programa realizando la mejor asignación de recursos

El modelo que mejor se adapta a este tipo de problemática es el de Programación Lineal Entera. Este modelo permite optimizar una función objetivo de tipo lineal

sujeta a una serie de restricciones de recursos entre ellas la obligatoriedad de unas variables enteras y no negativas. Para el presente trabajo, la función objetivo de costos del programa y las restricciones de limitantes de recursos son de tipo lineal lo cual permiten la modelización como un problema de Programación Lineal Entera

1. ANTECEDENTES

Un estudio realizado por la Facultad de Medicina de la Universidad Tecnológica de Pereira, en el año 2004, reveló que la prevalencia total de desnutrición en esa ciudad es del 32,5%. La Alcaldía de Pereira la declaró como un problema de salud pública y emprendió un plan de alimentación y nutrición que, a principios de 2005, se extendió a todos los municipios de Risaralda.

Según dice el informe de la UTP, si la desnutrición antes no aparecía entre las primeras diez causas de morbimortalidad en el municipio, no era debido a su inexistencia sino a un subregistro en la notificación de casos, en los cuales los principales afectados son los niños. Esto representa un indicador alarmante porque la desnutrición infantil crónica afecta al 41% de la niñez pereirana. “Es un problema muy serio que, con el fenómeno del desplazamiento, amenaza en convertirse en la principal causa de morbimortalidad infantil¹”.

Por eso la Alcaldía de Pereira, con el apoyo de la Gobernación de Risaralda, decidió intervenir con programas de recuperación nutricional dirigidos, especialmente, a población altamente vulnerable. En la fase de diagnóstico, las entidades encontraron que los niños están expuestos a carencias alimentarias permanentes, lo que ha influido en el desarrollo de su estatura.

Dichas intervenciones consisten en la recuperación de los niños con desnutrición crónica y aguda y la implementación del programa “Niños en riesgo social de desnutrición”, dirigido a la población infantil que, a pesar de estar en condiciones normales, presenta en su grupo familiar una serie de determinantes sociales y económicos que los hacen altamente susceptibles

¹ Evaluación del estado nutricional en población menor de 10 años en Pereira. Revista médica Risaralda

- **Componentes del Programa**

1. Recuperaciones nutricionales de 7.000 madres e hijos (embarazadas y lactantes).
2. Recuperación nutricional de niños menores de 12 años.
3. Vigilancia y control del estado nutricional de la población.
4. Educación en salud sobre cadena y seguridad alimentaria.
5. Participación comunitaria

Las anteriores intervenciones conllevaron una inversión en recursos superiores a los cinco mil millones de pesos de los recursos propios de la alcaldía los cuales permitieron contribuir socialmente a la recuperación nutricional de las zonas más vulnerables de la ciudad de Pereira. Estos planes estaban encaminados no solamente a brindar una ración diaria de alimentos, sino que permitía el diagnóstico e intervención de aquellos niños con riesgos nutricionales moderados.

Para realizar dichos diagnósticos, se hizo necesario la aplicación de diferentes evaluaciones de la salud de los niños, entre ellos los tamizajes nutricionales (anamnesis nutricional, exámenes físicos y exámenes de laboratorio) e identificadores de necesidades nutricionales a partir de la medición de los índices de masa corporal y las tablas antropométricas.

Para cumplir con las metas propuestas por la administración municipal, donde se cumplan con los parámetros establecidos, beneficiando socialmente a las diferentes comunidades, se plantea la posibilidad de utilizar modelos de Investigación de Operaciones que permitan la asignación óptima de los recursos para beneficiar a la mayor cantidad de niños, niñas y adolescentes que son impactados por el plan anual de nutrición

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Más de 700.000 niños colombianos, el 19% de la población infantil, sufren de desnutrición crónica. Asimismo, según este informe, el 20% de los menores colombianos son pobres frente al 3% que nació en el seno de familias con alto poder adquisitivo (Centro de estudios económicos CEDE, 2010). Con estos datos se dibuja la realidad de los niños colombianos, un sector de la población que sufre además como pocos la violencia del conflicto.

En la ciudad de Pereira, entre los años 2000 y 2011, la desnutrición crónica asociada a la talla que tiene el menor según su edad, bajó del 30 al 16%. En los menores con edades cercanas a los 5 años ésta situación se estancó, es decir, los indicadores no mostraron ningún descenso durante dicho periodo, lo que es bastante preocupante. Los indicadores estarían mostrando que los hogares comunitarios del Bienestar Familiar, no están teniendo un impacto importante en la mejora de su situación.

La Alcaldía de Pereira, cuenta con el Plan Anual de Nutrición, el cual consiste en brindar alimentación a los niños y niñas de varios sectores del municipio, entre ellos la Comuna Río Otún, analizar la calidad e inocuidad de los alimentos que ingieren, condiciones habitacionales, valoración clínico nutricional en peso, talla y edad para definir el tipo de desnutrición que padecen y el análisis de la atención que se les brinda a través de los programas que ofrece la administración municipal. El niño o niña que se encuentre en estado de desnutrición es reportado ante la Secretaría de Desarrollo Social y Político, quienes a su vez le hacen la vinculación respectiva ya que el objetivo primordial es disminuir el estado de desnutrición en los menores de edad de la ciudad así como restablecer sus derechos a una buena y sana alimentación diaria.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo elaborar un análisis socioeconómico de la efectividad del Plan Anual de Nutrición en los niños y niñas de la comuna Río Otún de la ciudad de Pereira 2008 - 2011 mediante un modelo de optimización?

Nota: *Este trabajo se inició a comienzos del año 2012, fecha en la cual se autorizó por parte de la Administración Municipal la consulta de los datos correspondientes al contrato del Plan Anual de Nutrición- 2008-2011. Durante el período de desarrollo de este trabajo de grado, 2012-2014, se presentaron restricciones y demoras permanentes en el suministro de la información, lo que ocasionó el extenso período de tiempo para su modelamiento. Posteriormente, se restringió totalmente el acceso a información por la auditoría externa a la que actualmente está sometido este Plan de Nutrición.*

2.3 SISTEMATIZACIÓN

- ¿Se ha llevado a cabo la etapa del proceso de inscripción y valoración nutricional y psicosocial para los beneficiarios del Plan de Nutrición?
- ¿Los potenciales beneficiarios están cumpliendo los requisitos de pertenecer a familias en condición de vulnerabilidad, tener dentro de su núcleo familiar menores de 12 años y mujeres embarazadas?
- ¿Qué cantidad de hogares pereiranos presentaron inseguridad alimentaria y nutricional?

- ¿Cuál es el grado de asociación entre la disponibilidad alimentaria y el estado nutricional del infante?
- ¿Cómo identificar la posibilidad que posee cada niño(a) de acceder en todo momento a una cantidad de alimentos suficiente y de buena calidad acorde con sus necesidades?
- ¿Existe suficiente cobertura poblacional para albergar al total de los niños(as) con mayor necesidad de los alimentos en la ciudad de Pereira?

3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un modelo matemático de optimización que permita medir la efectividad del Plan Anual de Nutrición en los niños y niñas de la Comuna Río Otún de la ciudad de Pereira durante los años 2008 – 2011; de tal manera que se asignen (aprovechen) de manera óptima los recursos financieros, humanos y tecnológicos garantizando el cumplimiento de los parámetros establecidos por la administración para el desarrollo normal y armonioso de los infantes.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar mediante revisión bibliográfica diferentes modelos matemáticos de asignación de recursos con restricciones nutricionales con el objeto de identificar el tipo de Modelo que más se ajusta a las necesidades, según la literatura revisada.
- Determinar los parámetros del sistema nutricional actual, identificando las diferentes variables que intervienen en el proceso, a fin de formular el Modelo matemático apropiado.
- Formular un modelo matemático de optimización que se ajuste a las características (restricciones) del Plan Anual de Nutrición.
- Analizar e interpretar los resultados obtenidos en el desarrollo del Modelo de Optimización.

4. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo al censo de población realizado por el Departamento Nacional de Estadística (DANE, 2005) en el año 2005, la población de la ciudad de Pereira proyectada para el año 2010 es aproximadamente 457.103 habitantes distribuidas en un 84% en la zona urbana y un 16% en la zona rural. El mismo informe mostró que a Junio de 2010 el Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas (NBI) que es una medida del nivel de pobreza para la ciudad es aproximadamente del 13%. Además indicó que el porcentaje de personas entre los 3 y 24 años que no asisten a un centro escolar es del 37%.

La comuna del Rio Otún es la segunda comuna en número de población superada solamente por la comuna del centro (Moreno Rojas, 2006). Además, existen algunos indicadores socioeconómicos que hacen de esta comuna un sector socialmente vulnerable con algunas de sus necesidades básicas insatisfechas. Algunos de estos indicadores son mencionados en el estudio denominado “Alternativas de Gestión pública a la segregación residencial por reubicación de viviendas en la ciudad de Pereira” (Chica, 2012). Entre ellos se tiene: Viviendas con más de 7 personas (3.6%), asistencia escolar de 6 a 10 años de edad (94.6%), nivel profesional (7.4%).

De acuerdo a lo anterior, se justifica la realización de un análisis socioeconómico de la efectividad del plan anual de nutrición para la comuna del Rio Otún, ya que es una zona socialmente vulnerable, con problemas nutricionales graves en niños y niñas con 9 años o menos tales como desnutrición (30.3%), Sobrepeso y Obesidad (10,8%) y problemas de talla para la edad (7.6%) en los cuales se recomienda una ingesta adicional de como mínimo 1000 Kilocalorías diarias como factor de recuperación del estado nutricional (Martínez et al, 2006).

El avance en los conocimientos sobre la nutrición infantil "ideal" tiene como objetivos el estudio del crecimiento y desarrollo, el análisis de sus bases, sus consecuencias inmediatas y, a largo plazo, las de la alimentación que recibe el niño. El aporte adecuado de nutrientes al niño es un factor decisivo para conseguir un estado de salud adecuado y un desarrollo en peso y estatura óptimo. Así, el aporte correcto de nutrientes debe cubrir en el niño las necesidades de su organismo en calorías, principios inmediatos, sales, coenzimas y otros factores biogénicos.

El exceso de alimentación puede llegar a producir un aumento en la masa corporal pero no en la talla, mientras que el déficit de nutrientes cualitativo o cuantitativo, produce una pérdida de peso y, si se prolonga en el tiempo, también determinaría una disminución en la talla.

La administración municipal de la ciudad de Pereira, consciente de la necesidad de la recuperación de la salud nutricional de su población, en especial la de los sectores más vulnerables, formuló y desarrolló una estrategia de recuperación denominada "Plan Anual de Nutrición" en la cual favoreció en una gran proporción a la comuna del río Otún invirtiendo una cantidad significativa de recursos para dicho plan.

El presente estudio busca determinar la manera más óptima de asignar los recursos para los diferentes componentes del plan, analizando específicamente el caso de la comuna del río Otún por todos los factores anteriormente mencionados, de tal manera que cumpla con las condiciones establecidas por la administración municipal y permita medir su impacto en dicha comunidad y establecer un modelo matemático para la optimización de los recursos de dicho plan en la zona.

5. MARCO DE REFERENCIA

5.1 ESTADO DEL ARTE

A continuación se presentan diversos estudios enmarcados en la misma temática que esta investigación:

5.1.1 Diseño e implementación de un plan nutricional optimizado en un centro de cuidado infantil de la ciudad de Guayaquil (Abate, 2010)

- **Autor**

Abate Morán Lucy

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).

- **Objetivo**

Diseñar e implementar un plan nutricional optimizado que cubra el 60% de los requerimientos nutricionales y energéticos de los niños y niñas asistentes a un Centro de Cuidado Infantil de la ciudad de Guayaquil.

- **Resumen**

El presente trabajo tuvo como objetivo el Diseño e implementación de un plan nutricional optimizado en un Centro de Cuidado Infantil de la ciudad de Guayaquil, que cubrió el 60% de los requerimientos nutricionales y energéticos de los infantes asistentes al mismo. Se inició con la selección de un grupo objetivo para el cual se calculó el gasto energético y requerimientos nutricionales. Se diseñó el plan nutricional en base a estos requerimientos y posteriormente se sometió a un proceso de optimización lineal por medio de la elaboración de un modelo

matemático, con el fin de minimizar el costo manteniendo el balance nutricional. Posteriormente se procedió a la implementación de los menús en el Centro y a realizar un análisis comparativo de resultados para verificar el beneficio económico y nutricional del nuevo plan; finalmente se tomaron pruebas sensoriales afectivas a los infantes para comprobar su grado de aceptación a los nuevos menús implementados.

- **Selección del Grupo Objetivo**

El grupo objetivo estuvo conformado por una muestra representativa de todos los infantes de ambos sexos asistentes regularmente al Centro de Cuidado Infantil, en condiciones físicas y de salud normales, sin ningún tipo de indicación que requiera dietas especiales o específicas. La cantidad total de infantes asistentes al centro al momento de la elaboración del plan nutricional era de 150, divididos en 87 niños y 63 niñas, es decir el 58 % y 42% respectivamente. El grupo objetivo seleccionado fue de 26 infantes, a los cuales les fueron recolectadas sus medidas antropométricas y las actividades físicas realizadas durante el día mediante una encuesta por recordatorio tomada a sus representantes.

- **Cálculo de Requerimientos del Grupo Objetivo**

- **Requerimiento Energético:**

El cálculo del requerimiento energético del grupo objetivo se llevó a cabo en dos etapas: Primero se efectuó el cálculo del Gasto Energético Basal, mediante las fórmulas obtenidas para niños y niñas de entre 2 a 4 años de la Organización para la alimentación y la agricultura de las Naciones Unidas FAO, generando un promedio de gasto basal de 35,74 Kcal/horas y 33,75 Kcal/horas, para niños y niñas respectivamente.

Como segunda etapa, se calculó el Gasto Energético Diario por actividades físicas realizadas, en base a los datos recolectados de las diversas actividades diarias realizadas por los niños y el tiempo invertido en ellas, obteniendo un promedio

ponderado del gasto energético total de todo el grupo objetivo de 1264,90 Kcal/día, el porcentaje a cubrir por el plan nutricional elaborado fue del 60 % de este valor, por lo tanto, los menús se elaboraron para compensar 758,94

Kilocalorías diarias con un rango de +/- 5% de error: [720,99 – 796,89] Kilocalorías.

- **Requerimiento Nutricional**

Las raciones nutricionales recomendadas son las cantidades aproximadas que una persona sana requiere de nutrientes para compensar el consumo o gasto energético diario. Los valores estándares de requerimientos nutricionales de la tabla de Ingesta diaria recomendada RDA de la Organización para la alimentación y la agricultura de las Naciones Unidas FAO se consideraron como guía para obtener los valores de requerimientos nutricionales de la niñez ecuatoriana, debido a la similitud de las medidas antropométricas y edades estandarizadas en dicha tabla con las características recolectadas de la muestra

Tabla 1. Requerimientos nutricionales para infantes de 2 a 4 años. Fuente: Abate, 2010

Nutriente (g/kg)	Necesidad
Proteínas	0,833
Lípidos	1,395
Carbohidratos	3,332
Calcio	560
Fósforo	560
Hierro	10,5
Vitamina A	280
Ácido Ascórbico	0,28
Hidrato	31,5
Rubofaina	0,455
Tiamina	0,42

El 40 % del requerimiento restante corresponde al valor de nutrientes recibidos en las comidas de los niños en sus hogares.

- **Diseño de Menús**

Los componentes alimentarios de los menús diseñados fueron seleccionados en base a los diversos criterios de diseño que incluyeron costumbres alimenticias, presupuesto, disponibilidad, preferencias y la función que ejercen en el organismo. El almuerzo diario se conformó de sopa o crema, segundo plato y jugo de fruta natural, además de una porción de fruta servida a media tarde como colación que debían cubrir los requerimientos nutricionales y energéticos del grupo estudiado. En total se diseñaron cinco menús para cada día de la semana que conformaron el plan nutricional.

Los menús elaborados se sirvieron en raciones que compensaron los requerimientos nutricionales anteriormente establecidos. El equilibrio de raciones para los menús se obtuvo desde dos niveles: cualitativo y cuantitativo. Seleccionar cualitativamente consistió en elegir los alimentos en las porciones adecuadas a cada comida, en número de veces suficiente para conseguir un aporte completo y de forma que estén representados todos los grupos de alimentos. Para cuantificar el aporte calórico y nutricional de los alimentos seleccionados se utilizó la Tabla de Composición de los Alimentos Ecuatorianos del Instituto Nacional de Nutrición del Ministerio de Previsión Social y Nacional en la cual se expresa la cantidad de energía y nutrientes contenida en 100 gramos de cada alimento.

- **Cálculo de Aporte Nutricional y Costos de las Raciones**

Se realizó el cálculo de los aportes nutricionales de cada uno de los cinco menús diseñados para conocer si éstos se encontraban dentro de los requerimientos previamente establecidos para los miembros del grupo objetivo. Además, se calcularon los costos que implicaría la elaboración de cada uno de los menús que

compondrían el plan nutricional. El aporte nutricional y costos por menú se presentan a continuación:

Tabla 2. Aporte nutricional y costos de los menús. Fuente: Abate, 2010

Menú	At (Kcal)	Costo por ración (\$)
1	737,4	1,48
2	739,46	1,29
3	766,65	1,17
4	767,68	1,49
5	738,15	1,27

Se observa que el aporte nutricional de cada uno de los menús elaborados osciló dentro del rango previamente establecido de requerimientos energéticos de los niños asistentes al centro de cuidado infantil; [720,99 – 796,89] Kilocalorías. Los costos totales de los menús se obtuvieron en base a un sondeo de los precios actualizados del año 2010 realizado en varios supermercados del país.

- **Optimización del Plan Nutricional**

Una vez diseñados los menús, se procedió a optimizarlos. La optimización se realizó a través de la opción Solver del programa Excel. La optimización tuvo como objetivo minimizar el costo de los menús diseñados, manteniendo el balance nutricional del plan. Para ingresar al proceso de optimización se formuló un modelo matemático compuesto de función objetivo y las respectivas restricciones de disponibilidad, necesidad, signo y Pesos.

- **Función Objetivo:**

$$MIN Z = \sum_{n=1}^5 a_n * x_n$$

$$Min Z = 0,0019X1 + 0,0015X2 + 0,0047X3 + 0,0010X4 + 0,0009X5$$

Donde a_n representa el costo de la variable x_n por gramo.

- **Implementación del Plan nutricional Optimizado**

La implementación del plan nutricional se realizó mediante la producción de raciones y la capacitación al personal. La producción de raciones se basó en:

a. Factores previos a la producción de raciones

- Características de menú
- Distribución de área de cocina
- Recursos técnicos y humanos

b. Factores circunstanciales

- Volumen a producir
- Facilidad de producción
- Prevención contra accidentes

La capacitación tuvo como objetivo general familiarizar al personal docente del centro con el papel fundamental de la buena nutrición infantil y concientizarlo en mantener el plan nutricional implementado.

El período de capacitación debió ser realizado en horarios laborables y por petición del Centro de Cuidado Infantil en el tiempo más corto posible, por lo cual únicamente se realizaron dos charlas al personal docente con una duración de 15

minutos en dos días diferentes con el fin de proporcionar la información básica acerca de nutrición y un foro de 25 minutos al finalizar los dos días de capacitación para conocer los resultados obtenidos. Además, se capacitó al personal de cocina, a quienes se les informó acerca de los cambios realizados en los menús diarios, la metodología de preparación de las raciones, la planificación de la producción y las normas básicas de higiene: Uso de redes, mandiles, higiene en operaciones previas a la cocción, durante la cocción y al momento de servir las raciones.

- **Resultados y Discusión**

- **Informes de resultados de la optimización**

Dentro de los informes de resultados se encontraron los informes de respuestas y los informes de sensibilidad. Informe de respuestas menú 1:

Tabla 3. Informe de respuestas menú 1. Fuente: Abate, 2010

Celda objetivo (Mínimo)			
Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$C\$2	Costo menú 1	1,48	1,29

Celdas cambiantes			
Celda	Nombre	Valor original	Valor final
\$C\$6	g. Crema de lentejas	231,980	224,070
\$D\$6	g. puré de papa	152,150	157,870
\$E\$6	g. carne hornada	73,090	68,140
\$F\$6	ml. Jugo de limón	200,000	183,333
\$G\$6	g. Melón	140,000	137,000

En el informe de respuestas se puede encontrar el costo inicial de cada menú al ingresar al proceso de optimización y el costo final optimizado; para el caso del menú 1 el costo final fue de \$1,29.

Informe de sensibilidad

Dentro de los informes de sensibilidad obtenidos se encontraba el precio sombra, el cual representó el incremento que tendría cada menú en relación directa a los gramos de aumento de cada componente. De acuerdo al precio sombra se pudo

detectar que los componentes que pueden ser sujetos a mas variaciones sin que el costo final de los menús se vea afectado son: carne, atún y pollo; y que los alimentos que menos influyen el costo de los menús son: jugos, frutas y arroz.

- **Aporte Nutricional y Costos**

Los resultados obtenidos fueron analizados a nivel de aporte nutricional y costos de cada menú.

Tabla 4. Costos de los menús optimizados. Fuente: Abate, 2010

Menú	Costo (\$)	
	Original	Optimizado
1	1,55	1,29
2	1,55	1,17
3	1,55	1,13
4	1,55	1,26
5	1,55	1,19

En la tabla 4 se puede observar que los costos de los menús optimizados implementados en el centro son menores a los originales; y sus aportes nutricionales se encuentran dentro del rango requerido por los niños de 2 a 4 años, a diferencia de los menús originales. Los costos calculados permitieron cuantificar el ahorro generado con la implementación:

Tabla 5. Análisis comparativo de Resultados. Fuente: Abate, 2010

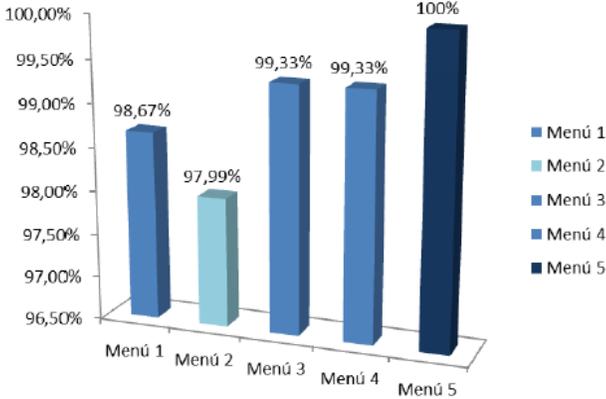
Menú	Costo (\$)		Ahorro (\$)
	Original	Optimizado	
1	1,55	1,29	0,26
2	1,55	1,17	0,38
3	1,55	1,13	0,42
4	1,55	1,26	0,29
5	1,55	1,19	0,36
Total	7,75	6,04	1,71

El ahorro semanal obtenido fue de \$ 1, 71 por ración, lo que se traduce en un ahorro mensual para los 150 niños asistentes al centro de \$ 1026, 63 en el costo original de los menús.

○ **Grado de Aceptación del Plan Nutricional**

El grado de aceptación del nuevo plan nutricional implementado se midió mediante una prueba sensorial afectiva. Las pruebas sensoriales afectivas son aquellas en las cuales el juez expresa su reacción subjetiva ante un determinado producto, indicando si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza, o si lo prefiere a otro; se eligió este tipo de prueba debido a que por lo general se realizan con paneles inexpertos o solamente con consumidores. Se aplicó la prueba afectiva a los 150 niños para cada uno de los cinco menús. La medición se realizó mediante una escala hedónica facial equivalente a una escala gráfica de tres puntos: Me gusta, Ni me gusta ni me disgusta, Me disgusta; obteniendo los siguientes resultados:

Figura 1. Grado de aceptación nuevo plan nutricional



La figura 1 muestra el grado de aceptación de los niños hacia cada uno de los cincos menús, con un rango de [97,99 - 100] %, correspondientes al menú 2 y al menú 5 respectivamente.

- **Conclusiones y Recomendaciones**

Se diseñó e implementó un plan nutricional optimizado integrado por cinco menús, cada uno compuesto de sopa o crema, segundo plato, jugo de fruta natural y porción de fruta, que cubren el 60% de los requerimientos nutricionales y calóricos diarios del grupo objetivo seleccionado.

- El proceso de optimización se llevó a cabo incluyendo una serie de restricciones de acuerdo a las necesidades, disponibilidad, balance y capacidad, que aseguraron que cada uno de los cinco menús contenga dentro de su composición las cantidades de macro y micronutrientes necesarios para mantener la dieta equilibrada, con adecuada presentación de cada ración y al mínimo costo.
- El beneficio económico generado por la implementación del nuevo plan nutricional optimizado representó un ahorro del 22% mensual, con una reducción de \$ 4.650,63 a \$3.624,00 en el valor del presupuesto original.
- Además de compensar los requerimientos nutricionales necesarios, con buena presentación de la ración y al mínimo costo, la composición de los menús resultó del agrado de los infantes, con un rango de aceptación entre 97.99% y 100%.
- El plan nutricional optimizado fue diseñado bajo una metodología aplicable para el diseño de nuevos planes que puedan ser implementados en otros centros de restauración colectiva tales como comedores industriales, comedores universitarios, etc.
- Se podría complementar la presente investigación con estudios microbiológicos y de buenas prácticas de higiene que permitan asegurar la inocuidad de las

raciones y además llevar a cabo estudios longitudinales para evaluar el crecimiento y desarrollo de los infantes a través del tiempo.

✓ **Análisis crítico del artículo**

MODELO MATEMÁTICO DEL ARTÍCULO	MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO
La función objetivo busca obtener una minimización del costo del balance nutricional utilizando únicamente estadísticas de beneficio económico.	La función objetivo busca disminuir los costos de la intervención del Plan anual de nutrición con alimentos nutritivos, mediante la evaluación nutricional (tamizaje nutricional o riesgo de desnutrición), por recursos asignados y por personal asignado a los programas.
Se tiene como parámetro el gasto energético pero no se determina el requerimiento nutricional en términos cuantitativos.	El tipo de evaluación nutricional se incluirá como un variable de decisión en donde se contemplan tres tipos anamnesis nutricional, examen físico y examen de laboratorio.
Se tiene el diseño y costo de los menús como restricción pero no como variable de decisión para determinar el aporte nutricional.	Se determina la cantidad de evaluaciones por utilizar además de la programación de su realización y de las atenciones infantiles.
Se determinan las necesidades, disponibilidad, balance y capacidad, que aseguraron que cada uno de los cinco menús contenga dentro de su composición las cantidades de macro y micronutrientes necesarios para	Se determinará la cantidad de materiales, personal administrativo y médico por utilizar y la programación de las intervenciones en la nutrición infantil de la Comuna Río Otún 2008-2011.

MODELO MATEMÁTICO DEL ARTÍCULO	MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO
mantener la dieta equilibrada.	
El modelo contiene las variables de decisión del beneficio económico generado por la implementación del nuevo plan nutricional.	<p>El modelo propuesto contendrá:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Número de evaluaciones nutricionales a través de cada tipo (anamnesis nutricional, examen físico y examen de laboratorio). • Cantidad de recursos por asignar. • Cantidad de menús a elaborar semanalmente. • Horarios de atención infantil en los Centros Educativos de la Comuna Río Otún. • Cantidad de equipos por asignar a las tareas de nutrición infantil. • Número de personas operativas para la elaboración de los alimentos. • Número de personas requeridas para identificación de necesidades nutricionales.

Fuente: Elaboración propia

• **Criterio de Búsqueda**

Google: Plan nutricional optimizado

<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/14809/1/Dise%C3%B1o%20e%20Implementacion%20de%20un%20plan%20nutricional%20optimizado%20en%20un%20centro%20de%20cuidado%20infantil.pdf>

5.1.2 Modelo matemático asignación seguimiento al consumo de alimentos que permite obtener indicadores de extrema pobreza y desnutrición (Reinaga, 2006)

- **Autor**

Eloy Alberto Reinaga Céspedes

Universidad Técnica de Oruro - Facultad Nacional de Ingeniería, Carrera de Ingeniería de Sistemas.

- **Objetivo**

El presente trabajo de investigación puede ser un instrumento poderoso para aquellas Organizaciones que luchan en la disminución de la pobreza (Pobreza Absoluta). El modelo toma variables de extrema pobreza, es decir, correspondientes a la ingesta de los nutrientes mínimos (Calorías, Proteínas, Carbohidratos, Minerales, Vitaminas, etc.) y los compara con los requerimientos mínimos que proponen Organizaciones Internacionales al respecto, proporcionando un modelo matemático que disminuye indicadores de pobreza extrema en base a una asignación y seguimiento nutricional de una persona, familia o grupo de personas con características homogéneas de alimentación. De esta forma se está participando en la reducción de la pobreza.

- **Resumen**

El presente trabajo de investigación puede ser un instrumento poderoso para aquellas Organizaciones que luchan en la disminución de la pobreza (Pobreza Absoluta). El modelo toma variables de extrema pobreza, es decir, correspondientes a la ingesta de los nutrientes mínimos (Calorías, Proteínas, Carbohidratos, Minerales, Vitaminas, etc.) y los compara con los requerimientos mínimos que proponen Organizaciones Internacionales al respecto,

proporcionando un modelo matemático que disminuye indicadores de pobreza extrema en base a una asignación y seguimiento nutricional de una persona, familia o grupo de personas con características homogéneas de alimentación. De esta forma se está participando en la reducción de la pobreza.

El modelo matemático está automatizado en un sistema informático (Software), de manera que la asignación y la función de desnutrición que analiza el control nutricional es calculado de forma automática, obteniéndose los indicadores necesarios para tomar las políticas pertinentes.

"No se cuenta con indicadores alimentario-nutricionales reales en el país, de la población calificada de máxima vulnerabilidad, para contribuir a las organizaciones pertinentes en la lucha y reducción de la pobreza y desnutrición, que vienen emprendiendo".

- **Objetivos:**

- ✓ Construir un modelo matemático que permita obtener indicadores de extrema pobreza y desnutrición, en base a una asignación y seguimiento nutricional de una persona, familia, grupo étnico u otro conjunto de personas con características comunes de alimentación.
- ✓ Proporcionar una metodología que permita realizar modelación matemática con el uso de las técnicas de la Ingeniería de Sistemas, aplicados a problemas económicos y/o sociales de la forma que analiza la Dinámica de Sistemas, para la evaluación de estas metodologías.
- ✓ Proporcionar indicadores que permitan dar información de la cantidad de alimentos e indicadores del estado nutricional de la población que tienen problemas de mal nutrición.
- ✓ Estimar las Líneas de Indigencia (LI) y Líneas de Pobreza (LP) por familia, para inferirlos en la población de análisis. La metodología que se empleara en el desarrollo del presente trabajo es el de la investigación científica, es decir:

Observar el sistema (fenómeno económico-social) donde incide la decisión, recolección de información de hábitos de Ingesta de alimentos. Identificar y formular el o los problemas sobre los cuales se quiere decidir (construir el modelo matemático de comportamiento),

- ✓ Establecer una serie de hipótesis, que puedan ser aceptadas o rechazadas, mediante modelos que se han diseñado explícitamente para ese fin.
- ✓ Experimentar, es decir, resolver el o los modelos (contrastar los datos obtenidos y en las comunidades de estudio con los arrojados por el modelo).
- ✓ Verificar que los resultados del modelo sean universalmente aplicables al problema en cuestión, cuando este se encuentre bajo las mismas circunstancias, en periodo de tiempo distinto en diferentes comunidades de estudio. Si se implementa el modelo matemático, se obtendrán mejores indicadores de extrema pobreza y desnutrición de la población calificada como indigente y marginal."

El objetivo general ha sido alcanzado satisfactoriamente, lográndose construir un sistema informático (Software), con las características del modelo matemático, que a tiempo de resolver el problema matemático, generar una base de datos, obteniéndose los indicadores de extrema pobreza y desnutrición pertinentes para las 10 comunidades de estudio. Con la construcción del modelo se llega a encontrar una nueva metodología para la construcción de modelos. Se ha generado una base de datos de las características de cada una de las familias, en las comunidades de estudio (Número de miembros, edades, peso, talla, ubicación geográfica, estudio socioeconómico); canastas básicas de alimentación de las familias como los indicadores alimentario-nutricionales (lo real consumido y lo recomendado por organismos internacionales) por comunidades; niños menores de 5 años con indicadores según P/E, P/T, T/E. Se obtuvo costos de las canastas básicas de alimentación como los alimentos que más consumen según comunidad, zonas agroecológicas por familias y comunidad, lo que representa la línea de indigencia de cada una de las familias de estudio. En la parte de

recomendaciones se tiene una serie de políticas y estrategias que podrán aplicar organismos que se hallan inmersos en la temática alimentaría nutricional de la población calificada como de riesgo.

Del presente estudio de investigación se tienen las siguientes recomendaciones que van dirigidos a los actores principales (Autoridades, ONG's, Gobierno, etc.) de la lucha contra la extrema pobreza (Indigencia, subnutrición): Los actores deberán reflexionar sobre la problemática alimentario-nutricional. El presente modelo permite mejorar metodologías que conllevan situaciones de consumo de alimentos, desnutrición. Deberá enfatizarse en una educación alimentaría. Debería tomarse en cuenta la calidad de productos alimenticios producciones según regiones agroecológicas y según potencialidades y cualidades nutritivas de los diferentes productos

✓ **Análisis crítico del artículo**

MODELO MATEMÁTICO DEL ARTÍCULO	MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO
Con el trabajo se introduce por primera vez un modelo matemático para evaluar el seguimiento al consumo de alimentos que permite obtener indicadores de extrema pobreza y desnutrición.	La aptitud para obtener indicadores de extrema pobreza no se analizará en el modelo pero la información acerca de la desnutrición infantil de la Comuna Río Otún de Pereira fue fundamental para el planteamiento del problema.
El modelo toma variables de extrema pobreza, es decir, correspondientes a la ingesta de los nutrientes mínimos (Calorías, Proteínas, Carbohidratos, Minerales y Vitaminas), permiten	El tema de extrema pobreza se dejará para posteriores investigaciones que enriquezcan el modelo planteado.

MODELO MATEMÁTICO DEL ARTÍCULO	MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO
determinar los instrumentos necesarios para las Organizaciones que luchan en la disminución de la pobreza.	
El modelo matemático está automatizado en un sistema informático (Software), de manera que la asignación y la función de desnutrición que analizan el control nutricional son calculadas de forma automática, obteniéndose los indicadores necesarios para tomar las políticas pertinentes.	El modelo matemático está automatizado en un sistema informático (GAMS), que permite disminuir los costos relacionados con las tareas de evaluación nutricional, identificación de necesidades nutricionales, intervención del plan anual de nutrición y la evaluación del cuidado nutricional de los niños y niñas de la Comuna Río Otún 2008-2011.

Fuente: Elaboración propia

- **Criterio de Búsqueda**

Google: Modelo matemático desnutrición

<http://tesis.dpicuto.edu.bo/facultad-nacional-de-ingenieria/carrera-de-ingenieria-de-sistemas-e-informatica/1678-modelo-matematico-asignacion-seguimiento-al-consumo-de-alimentos-que-permite-obtener-indicadores-de-extrema-pobreza-y-desnutricion.html>

5.1.3 Modelo matemático de optimización para granjas integrales de agricultura sostenible (García et al, 2009)

- **Autor**

Beatriz García, Darnes Vilariño, Vilda Figueroa, O. López y J L Piloto.

Instituto de Investigaciones Porcinas

- **Objetivo**

Se construyó un modelo matemático de optimización lineal bicriterio que describe y optimiza los procesos de una granja integral de agricultura sostenible. Los elementos esenciales dentro del sistema son la caña de azúcar como fuente energética empleada en la alimentación animal y el cerdo como principal productor de carne. El modelo minimiza el área de tierra cultivable por toneladas de carne producida al año. Para la descripción del rebaño, procedimientos tecnológicos y veterinarios se emplearon modelos empírico-mecanicistas. El cálculo de las dietas y el empleo de la tierra se realizaron utilizando un modelo de optimización continua y sus soluciones fueron halladas mediante el software "OPLIN". Para el cálculo de las soluciones del modelo se tuvo en cuenta condiciones de producción específicas y niveles de integración determinados. Se incluyeron además algunos parámetros de salida derivados de la solución óptima (cantidad de tierra necesaria para garantizar la alimentación animal, cantidad de alimentos que se producen y cantidad de cada alimento que consumen cada una de las especies). Estas salidas ayudan a establecer índices productivos de acuerdo con condiciones predeterminadas. El modelo puede utilizarse como herramienta de simulación en la validación de tecnologías para granjas integrales de agricultura sostenible. El modelo también permite encontrar una estrategia adecuada para situaciones diversas mediante la validación repetida del mismo según un rango de suposiciones especificadas.

- ✓ **Conclusiones**

Se ha construido un modelo de optimización bicriterio que describe sistemas agropecuarios integrales de agricultura sostenible, donde se predice la rentabilidad del sistema y se determina la combinación óptima de los recursos mediante algoritmos que minimizan el área de tierra cultivable y disminuyen el gasto económico. El modelo posibilita además encontrar una estrategia adecuada para una situación determinada, mediante la validación repetida del mismo según un rango de suposiciones especificadas. Este modelo

constituye el núcleo elemental de un modelo más amplio que incluirá el uso de los residuales porcino, el empleo del biogás, plantas acuáticas, peces, lombrices y otras especies para la producción de carne, todos ellos producidos dentro del propio sistema. Este modelo se ha implementado de forma tal que la inclusión de estos elementos no implique cambios estructurales.

✓ **Análisis crítico del artículo**

MODELO MATEMÁTICO DEL ARTÍCULO	MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO
<p>El modelo matemático de optimización bicriterio, contempla la descripción y optimización de los procesos de una granja integral de agricultura sostenible, donde los elementos esenciales son: la caña de azúcar empleada como fuente energética en la alimentación animal y el cerdo como principal productor de carne).</p>	<p>El modelo matemático de optimización, además de incluir la intervención del Plan anual de nutrición, se tendrá en cuenta la evaluación y seguimiento del cuidado nutricional.</p>
<p>Se contempla la evaluación nutricional como una variable de entrada, asumiendo costos operacionales.</p>	<p>Se tendrá la cantidad de recursos necesarios por cada tipo de evaluación nutricional como una variable de decisión permitiendo que el modelo realice la asignación óptima.</p>
<p>Se determina la cantidad de recursos humanos y físicos por utilizar.</p>	<p>Se determinará la cantidad de recursos humanos, físicos y financieros por utilizar además de la programación de los menús y de las atenciones</p>

MODELO MATEMÁTICO DEL ARTÍCULO	MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO
	infantiles.
<p>El modelo empírico-mecanicista (MEM) da solución al problema de cálculo del rebaño a través de índices productivos y reproductivos,</p>	<p>Además de incluir costos de intervención del Plan anual de nutrición, se contemplará:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Costo de nutrición por tipo de menú. • Costo de oportunidad por demanda nutricional no satisfecha. • Costo por recursos asignados a la evaluación nutricional, identificación de necesidades nutricionales, intervención del plan anual de nutrición y la evaluación del cuidado nutricional. • Costo por recursos ociosos. • Costo por personal asignado.
<p>Las variables de decisión (salida) hacen referencia a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Requerimientos alimentarios. • Composición química de los alimentos. • Requerimientos nutricionales. • Dieta en base seca. • Dieta en base húmeda. 	<p>Además de algunas de estas variables el modelo propuesto contendrá:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Número de evaluaciones nutricionales a través de cada tipo (anamnesis nutricional, examen físico y examen de laboratorio). • Número de recursos por asignar para cada tipo de evaluación nutricional. • Toneladas de alimentos nutritivos por

MODELO MATEMÁTICO DEL ARTÍCULO	MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO
	<p>entregar en la semana a los centros educativos, especificando día y horario.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Número de recursos por asignar a la operación de identificación de necesidades nutricionales (déficit de peso, exceso de peso y etiología). • Número de personas para la elaboración de los menús.

Fuente: Elaboración propia

- **Criterio de Búsqueda**

Google: Modelo matemático de optimización de alimentos

<http://www.sian.info.ve/porcinos/publicaciones/rccpn/rev51/beatriz.htm>

5.1.4 Producción de alimentos apoyada con programación lineal (Galindo, 2007)

- **Autor**

Ing. Mario Galindo

Facultad de Ingeniería - Universidad Rafael Landívar.

- **Objetivo**

Factores como la explosión demográfica mundial, las sequías en extensas regiones de África, los efectos del Fenómeno de El Niño en Latinoamérica, los

huracanes, las inundaciones, y otros meteoros que están dañando las principales fuentes de alimento, como los campos de cultivo de maíz, soya, trigo y arroz, así como los bancos de peces en los océanos, deberían de tomarse muy en serio para planificar la producción actual y futura de alimento.

Hace sólo algunas décadas se empezó a tomar conciencia de que debemos cuidar los recursos naturales y aparecieron iniciativas como Greenpeace, y tomó auge el tema ecológico, de manera de que los procesos productivos no dañen el medio ambiente, tan frágil y tan difícil de regenerar. El descubrimiento del agujero en la capa de ozono de nuestra atmósfera puso de manifiesto la urgente necesidad de tomar medidas de hecho para enmendar estos problemas. Con el advenimiento de los movimientos populares en varias regiones del mundo, especialmente en Latinoamérica, ha empezado a tomar preponderancia el respeto y la estrecha relación que las culturas tradicionales indígenas tienen por la tierra, por la flora y la fauna. La cultura occidental que basa su desarrollo en el mandato bíblico sobre la creación, que faculta al hombre a enseñorearse sobre la tierra, los mares, y sobre todas las especies, debe detenerse un momento para reflexionar que este mandato el hombre ha olvidado, por conveniencia, realizarlo con responsabilidad.

Siguiendo esta forma de pensamiento, es válido agregar que también se debe aprovechar los recursos naturales con sentido común, buscando que no se agoten definitivamente, y que se utilicen de la mejor forma posible, lo cual lleva inequívocamente a los temas de eficiencia y optimización. El desarrollo de las técnicas de investigación de operaciones con todas sus herramientas, y la tecnología computacional moderna, pone a la comunidad científica, técnica y empresarial, en capacidad de optimizar los procesos productivos de manera de conseguir un buen aprovechamiento de los recursos, y un bajo costo de producción, para que los beneficios lleguen a todos, y los productos sean de un relativo bajo costo de adquisición.

En el campo de la producción de alimentos para consumo humano y para el sector pecuario, existe una vasta gama de posibilidades de aplicación de las herramientas de programación lineal para optimizar su producción. Desde el tema de la rotación de los cultivos, para evitar la fatiga de las tierras cultivables, hasta la formulación misma de las dietas, se tiene en las técnicas de la programación lineal un aliado poderoso para diseñar alimentos con un desempeño superior en cuanto al aprovechamiento de los nutrientes de todas las materias primas, al menor costo posible. La programación lineal se ha empleado desde hace muchos años en la formulación de alimentos para la FAO, y otras entidades como la UNESCO, para paliar el hambre en áreas desoladas por guerras, conflictos étnicos y sequías.

- **Resumen**

La producción moderna de alimentos busca desarrollar y crear productos que cumplan con todos los requisitos nutricionales propios de cada especie, a la vez que debe conseguirlo mediante el aprovechamiento de recursos cada vez más limitados. La utilización de herramientas de programación contribuye a fortalecer estos procesos de producción, tal el caso de la aplicación del Método Simplex para establecer la formulación óptima de alimentos.

- **Modelo**

El Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá INCAP ha desarrollado productos balanceados, como la INCAPARINA, principalmente para el consumo infantil, a costos extremadamente bajos para poblaciones objetivo de suma pobreza. Y es en este concepto de alimentos balanceados que se encuentra la oportunidad para las técnicas de programación lineal. Un alimento balanceado debe cumplir con ciertos requisitos para satisfacer los requerimientos diarios de una gran cantidad de nutrientes específicos para el buen funcionamiento y salud de un ser vivo que lo consume. Es aquí donde la programación lineal encuentra las piezas del ajedrez que debe movilizar para alcanzar su objetivo: vitaminas,

minerales, proteínas, calorías, que se encuentran en una gama de materias primas como el maíz, el trigo, la soya, el arroz, el sorgo, y para el consumo humano, hay que agregar verduras, carnes, y otros productos de origen vegetal y animal.

Actualmente, con el importantísimo apoyo que las computadoras ofrecen a los técnicos y empresarios, el sector industrial de la producción de alimentos cuenta con una gran variedad de software, compuesto por programas que se especializan en la formulación de dietas específicas para distintas especies, tales como cerdos, camarones, avestruces (que ya se están explotando industrialmente en Guatemala, aunque en pequeña escala), caballos de trabajo, caballos de carreras (que representan una fuerte inversión), ganado vacuno, aves reproductoras, gallinas ponedoras, pollos de engorde, y especies menores, como perros y gatos (muy explotados comercialmente).

La planificación para la formulación de alimentos puede quedar plenamente establecida con la aplicación de Mapas Conceptuales que permiten definir claramente los objetivos buscados en una formulación alimenticia determinada. Se dispone de diversos software que permiten realizar este tipo de análisis. La formulación de dietas es entonces, una parte vital de la industria alimenticia, porque es allí donde se optimiza el uso adecuado de los nutrientes contenidos en toda la variedad disponible de materias primas, y, además, donde se busca encontrar una ecuación objetivo que al final del análisis, dé como resultado el menor costo posible. Es importantísimo para formular una dieta, el definir los parámetros de los niveles energéticos del alimento, porque de ello dependerá directamente, el consumo del mismo, lo cual puede hacer la diferencia entre el éxito o el fracaso financiero, aunque el modelo matemático de la distribución de nutrientes por materia prima, indique que se está haciendo con mínimo costo.

Una de las industrias que se ha tecnificado enormemente y que ha crecido a niveles industriales, es la industria avícola, la cual se puede dividir en dos grandes

sectores comerciales, el de producción de carne, y el de producción de huevos. En Guatemala, existen alrededor de 7 millones de gallinas de postura (de huevos), las cuales reciben una alimentación balanceada para poder desarrollar todo su potencial genético en cuanto a producción se refiere. Hace unos 40 años, coincidiendo con la promulgación en Guatemala de la Ley de Fomento Avícola, estas aves eran capaces de poner unos 150 huevos en toda su vida productiva, mientras que en la actualidad, esa suma sobrepasa con facilidad los 350 huevos por ave.

La tabla 6 contiene un ejemplo real de composición de una dieta básica experimental para gallinas de producción de huevos, con todos sus ingredientes y los componentes nutritivos requeridos según el análisis mostrado.

Tabla 6. Dieta Básica Experimental para Gallinas de Producción de huevos. Fuente: Galindo, 2007

INGREDIENTE	% de inclusión	ANÁLISIS	Calculado
Sorgo	67.110		
Pasta de soya	19.600		
Carbonato de calcio	8.900		
Ortofosfato	1.700		
Aceite vegetal	1.425	Proteína cruda	15.38%
Sal	0.400	Energía metabolizable	2750 kcal/kg
Vitaminas	0.250	Lisina	0.780 %
Lisina	0.140	Metionina	0.230 %
Minerales	0.100	Metionina + cistina	0.476 %
Pigmento amarillo	0.100	Calcio total	3.700 %
Pigmento rojo	0.070	Fósforo disponible	0.420 %
Antibiótico	0.050		
Cloruro de colina	0.030		
Antimicótico	0.025		
Antioxidante	0.100		
Total	100.00		

La Programación Lineal constituye, pues, una de las herramientas más poderosas utilizadas para la formulación de alimentos, concentrados o piensos, para aplicaciones pecuarias, y sobre todo humanas, ya que considera todos los requerimientos nutricionales que se quieren cubrir con el alimento que se está diseñando, además de tomar en cuenta los costos de cada ingrediente como el sorgo (maicillo), maíz, etc. También toma en cuenta la disponibilidad de cada uno

de ellos. Luego siguiendo con los pasos del método científico, se ponen todas las variables y parámetros ordenados en un modelo matemático, que debe ser verificado para asegurar que representen fielmente el problema de formulación que se está resolviendo.

Como era de esperarse este modelo matemático está escrito en el lenguaje universal que técnicos, profesionales, ingenieros y científicos entienden: ecuaciones. Afortunadamente para las actuales generaciones de especialistas en este tema, existe una amplia gama de programas de computación para resolver el problema planteado, utilizando básicamente el algoritmo del Método Simplex, que permitirá la obtención de la solución óptima, la cual representa el costo más bajo de producción y la mejor alternativa de formulación nutricional balanceada, optimizando la utilización de las materias primas, y otros recursos, que, día a día, se encuentran más escasos y limitados.

A manera de ilustración se plantea un estudio de caso incluyendo la resolución para una formulación simulada de dos productos, utilizando programas computacionales.

- **Estudio de Caso**

Se desea preparar dos productos diferentes de alimentos para ganado con formulaciones que incluyen los nutrientes A, B y C según la tabla siguiente:

Tabla 7. Formulaciones para el estudio de caso. Fuente: Galindo, 2007

Nutriente	Porcentaje en peso	
	Producto 1	Producto 2
A	60	15
B	20	25
C	20	60

La disponibilidad y precio unitario de los nutrientes en el mercado nacional se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 8. Disponibilidad y precio nutrientes. Fuente: Galindo, 2007

Nutriente	Precio unitario (Q.)	Disponibilidad (m ³)
A	7.00	2,000
B	5.00	2,500
C	4.00	1,500

Además, según estudios de mercado realizados se estima que el precio de venta unitario del Producto 1 es Q.6.80 y del Producto 2 es Q. 5.70. Sobre esa base se desea estimar la producción óptima de ambos Productos.

- **Solución**

Se plantea la ecuación de maximización considerando costos de producción por producto en base a la materia prima consumida y se obtiene el ingreso por venta total de cada producto.

Se presenta la solución del problema utilizando la opción SOLVER de EXCEL®:

Figura 2. Formulación problema Solver de EXCEL. Fuente: Galindo, 2007

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2		PRODUCTOS			RECURSOS		
3		Nutrientes	Prod 1 %	Prod 2 %	utilizados (m ³)	disponibles (m ³)	Costo unitario
4		A	0.60	0.15	SUMAPRODUCTO(C4:D4,\$C\$9:\$D\$9)	2000.0	Q7.00
5		B	0.20	0.25	SUMAPRODUCTO(C5:D5,\$C\$9:\$D\$9)	2500.0	Q5.00
6		C	0.20	0.80	SUMAPRODUCTO(C6:D6,\$C\$9:\$D\$9)	1200.0	Q4.00
7							
8			Prod 1 (m ³)	Prod 2 (m ³)			
9					Utilidad máxima Q.:	SUMAPRODUCTO(C8:D8,\$E\$9:\$F\$9)	
10		Precio unitario	Q6.80	Q5.70			
11		Costo unitario	=\$C\$4*\$C9+\$C\$5*\$C\$6+\$C\$6*\$C\$6	=\$C\$4*\$D4+\$C\$5*\$D5+\$C\$6*\$D6			
12		Contribución	+C10-C11	+D10-D11			

The Solver Parameters dialog box is open, showing the following settings:

- Cella objetivo: \$G\$9
- Valor de la celda objetivo: Máximo Mínimo Valores de: 0
- Cambiando las celdas: \$C\$9:\$D\$9
- Sujetas a las siguientes restricciones:
 - \$C\$9:\$D\$9 >= 0
 - \$E\$4 <= \$F\$4
 - \$E\$5 <= \$F\$5
 - \$E\$6 <= \$F\$6

Cuya respuesta es la siguiente:

Figura 3. Modelo de solución por Solver de EXCEL. Fuente: Galindo, 2007

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2		PRODUCTOS			RECURSOS		
3		Nutrientes	Prod 1 %	Prod 2 %	utilizados (m ³)	disponibles (m ³)	Costo unitario
4		A	0.60	0.15	2000.0	2000.0	Q7.00
5		B	0.20	0.25	860.6	2500.0	Q5.00
6		C	0.20	0.60	1200.0	1200.0	Q4.00
7							
8			Prod 1 (m ³)	Prod 2 (m ³)			
9			3090.9	969.7	Utilidad máxima Q.:		3442.42
10		Precio unitario	Q6.80	Q5.70			
11		Costo unitario	Q6.00	Q4.70			
12		Contribución	Q0.80	Q1.00			
13							

Alternativamente, se muestra la solución utilizando el MathCAD®

Figura 4. Solución por MathCAD®. Fuente: Galindo, 2007

Cantidades en metros cúbicos de cada producto a obtener (valores semilla para el cálculo):

$$x1 := 1 \cdot m^3 \quad x2 := 1 \cdot m^3$$

Ecuación a maximizar, ingreso por ventas menos costos de materia prima:

$$Z(x1, x2) := x1 \cdot (6.80) + x2 \cdot (5.70) - (0.60 \cdot x1 + 0.15 \cdot x2) \cdot (7.00) - (0.20 \cdot x1 + 0.25 \cdot x2) \cdot (5.00) - (0.20 \cdot x1 + 0.60 \cdot x2) \cdot (4.00)$$

Given

$$0.60 \cdot x1 + 0.15 \cdot x2 \leq 2000 \cdot m^3 \quad 0.20 \cdot x1 + 0.25 \cdot x2 \leq 2500 \cdot m^3 \quad 0.20 \cdot x1 + 0.60 \cdot x2 \leq 1200 \cdot m^3$$

$$A := \text{Maximize}(Z, x1, x2) \quad \begin{pmatrix} x1 \\ x2 \end{pmatrix} := A$$

$x1 = 3090.91 \cdot m^3$ $x2 = 969.697 \cdot m^3$ $Z(x1, x2) = 3442.42 \cdot Q$

Consumo de materia prima:

$$0.60 \cdot x1 + 0.15 \cdot x2 = 2000 \cdot m^3 \quad 0.20 \cdot x1 + 0.25 \cdot x2 = 860.61 \cdot m^3 \quad 0.20 \cdot x1 + 0.60 \cdot x2 = 1200 \cdot m^3$$

También se presenta la solución utilizando el Mathematica 5.1®

Figura 5. Solución por Mathematica 5.1®. Fuente: Galindo, 2007

```
In[1]:= Maximize[{x1*6.80+x2*5.70-(x1*0.60+x2*0.15)*7.00-
(x1*0.20+x2*0.25)*5.00-(x1*0.20+x2*0.60)*4.00,
(x1*0.60+x2*0.15)<=2000,
(x1*0.20+x2*0.25)<=2500,
(x1*0.20+x2*0.60)<=1200},
{x1,x2}]

Out[1]= {3442.42, {x1 -> 3090.91, x2 -> 969.697}}
```

- **Conclusiones**

El desarrollo de las técnicas de investigación de operaciones, con todas sus herramientas, permite optimizar los procesos productivos para el mejor aprovechamiento de los recursos, y permitir que los productos sean de un relativo bajo costo de adquisición. En ese sentido, la aplicación de herramientas matemáticas y utilización de software especializado permite obtener fácilmente soluciones óptimas para la toma de decisiones en la formulación y manufactura de alimentos nutricionalmente fortalecidos.

✓ **Análisis crítico del artículo**

MODELO MATEMÁTICO DEL ARTÍCULO	MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO
La función objetivo busca desarrollar y crear productos que cumplan con todos los requisitos nutricionales.	La función objetivo busca disminuir los costos de la intervención del Plan anual de nutrición con alimentos nutritivos, mediante la evaluación nutricional (tamizaje nutricional o riesgo de desnutrición), por recursos asignados y por personal asignado a los programas.

MODELO MATEMÁTICO DEL ARTÍCULO	MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO
<p>Se tiene como parámetro la capacidad de alimentos nutricionales pero no se determina el número óptimo para el trabajo.</p>	<p>Se determina la cantidad de evaluaciones por utilizar además de la programación de su realización y de las atenciones infantiles.</p>
<p>Se determina la Dieta Básica Experimental para Gallinas de Producción de huevos.</p>	<p>Se determinará la cantidad de materiales, personal administrativo y médico por utilizar y la programación de las intervenciones en la nutrición infantil de la Comuna Río Otún 2008-2011.</p>
<p>El modelo contiene las variables de decisión de costos de producción por producto en base a la materia prima consumida y se obtiene el ingreso por venta total de cada producto.</p>	<p>El modelo propuesto contendrá:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Número de evaluaciones nutricionales a través de cada tipo (anamnesis nutricional, examen físico y examen de laboratorio). • Cantidad de recursos por asignar. • Cantidad de menús a elaborar semanalmente. • Horarios de atención infantil en los Centros Educativos de la Comuna Río Otún. • Cantidad de equipos por asignar a las tareas de nutrición infantil. • Número de personas operativas para la elaboración de los alimentos. • Número de personas requeridas para

MODELO MATEMÁTICO DEL ARTÍCULO	MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO
	identificación de necesidades nutricionales.

Fuente: Elaboración propia

- **Criterio de Búsqueda**

Google: Alimentos nutricionales

http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_02_IND01.pdf

5.1.5 Programación entera mejora el proceso de licitación de raciones alimenticias (Epstein et al, 2001)

- **Autor**

Rafael Epstein, Lysette Henríquez, Jaime Catalán, Cristián Martínez

- **Objetivo**

Chile es un país en vías de desarrollo cuyo sistema educacional está formado por 14.000 colegios a lo largo de las 13 regiones geográficas del país. El 91 % de la cobertura escolar es financiada total o parcialmente por el Estado, encargándose de entregar la educación a los niños provenientes de los sectores con menos recursos del país. El 30 % de la población menor a 18 años vive bajo la línea de pobreza.

Un factor fundamental para hacer efectiva la igualdad de oportunidades es suplir las carencias de los niños y jóvenes provenientes de los sectores socioeconómicamente vulnerables, a través de programas asistenciales orientados a otorgar alimentación complementaria para reducir el ausentismo y

deserción escolar y mejorar el rendimiento escolar, además de programas de salud, vivienda estudiantil y recreación (Henríquez (1999)).

La Junta Nacional de Auxilio Escolar y Becas (JUNAEB), servicio público del sector educación, es la responsable de brindar estos programas asistenciales. En particular, su objetivo fundamental consiste en entregar la alimentación a los alumnos durante su jornada escolar (desayuno, almuerzo, merienda y cena según corresponda). Ésta se brinda en los diferentes colegios con cobertura nacional sin costo para los estudiantes. El presupuesto anual de JUNAEB para programas es de 150 millones de dólares (al año 2000), de los cuales 138 se gastan en el Programa de Alimentación Escolar (PAE), entregando servicios alimenticios a un millón doscientos mil niños aproximadamente. Esto incluye el programa de alimentación regular además del programa de vacaciones y algunos programas de reforzamiento del Ministerio de Educación.

- **Resumen**

En este trabajo se presenta la aplicación exitosa del uso de un modelo matemático para determinar la adjudicación óptima en una licitación de servicios de raciones alimenticias para colegios en Chile. El proceso involucra 180 millones de dólares y la alimentación de un millón trescientos mil niños aproximadamente, siendo una de las licitaciones estatales más importantes en el país. Para mejorar la calidad de la asignación, se desarrolló un modelo de programación lineal entera que decide la adjudicación entre las distintas empresas concesionarias. El modelo cambió radicalmente la naturaleza del proceso en tres aspectos fundamentales. Primero, dio transparencia y objetividad al proceso completo generando competencia entre las empresas. Segundo, permitió a las firmas construir ofertas territorialmente.

- **Modelo Matemático**

Parámetros

R : conjunto de regiones geográficas del país.

I : conjunto de unidades territoriales.

K : conjunto de empresas participantes.

J : conjunto de ofertas presentadas.

$c_j(\text{estralim}, \text{niveldda}, \text{maestro}, \text{F.O.})$: costo de la oferta j para estructura alimentaria, nivel de demanda y Maestro dados, dependiendo de la función objetivo utilizada (JUNAEB o tres instituciones).

$c_j^{\text{banda}}(\text{estralim}, \text{niveldda}, \text{maestro}, \text{F.O.})$: costo correspondiente a la banda de precios de la oferta j para estructura alimentaria, nivel de demanda y Maestro dados, dependiendo de la función objetivo utilizada.

$POND_k$: ponderador de la empresa k , de acuerdo a su calificación global de desempeño. Si la evaluación se realiza sin considerar la calificación, el ponderador será uno.

$e(j)$: empresa que presenta oferta j .

$u(j)$: conjunto de unidades territoriales incluidas en oferta j .

$\text{œr}(k,r)$: conjunto de ofertas presentadas por la empresa k que incluyen U.T. pertenecientes a la región r .

$MAXuniemp(k)$: límite máximo de U.T. aceptables para la empresa k . Límite depende del tamaño de la empresa y toma valores entre 1 y 8.

$MAXofeemp(k)$: límite máximo de ofertas aceptables para la empresa k . Límite se fija igual a uno.

$MINempreg(r)$: límite mínimo de empresas aceptables en región r . Límite depende de la región pero en general es cercano a 2.

$MAXempreg(r)$: límite máximo de empresas aceptables en región r . Límite depende de la región pero en general es cercano a 4.

- **Variables**

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{aceptar oferta } j \\ 0 & \text{rechazar oferta } j \end{cases}, \forall j \in J$$

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{empresa } k \text{ abastecerá alguna U.T. en la región } r \\ 0 & \text{empresa } k \text{ no abastecerá ninguna U.T. en la región } r \end{cases}, \forall k \in K, \forall r \in R$$

- **Función Objetivo**

Minimizar el costo total de la asignación para estructura alimentaria, nivel de demanda y Maestro dados, dependiendo de la función objetivo utilizado (JUNAEB o tres instituciones) y de si se considera o no la calificación global de desempeño en la asignación.

$$\min \sum_j C_j (\text{estralim}, \text{niveldda}, \text{maestro}, F.O) * X_j * POND_{e(j)}$$

- **Restricciones**

(1) Todas las unidades territoriales deben ser cubiertas.

$$\sum_{j:i \in u(j)} X_j \geq 1 \quad \forall i \in I$$

(2) Límite de unidades territoriales asignadas a cada empresa.

$$\sum_{j:k \in e(j)} X_j * |u(j)| \leq MAXuniemp(k) \quad \forall k \in K$$

(3a) Cálculo de variables Y_{kr} .

$$Y_{kr} \leq \sum_{j:r \in oer(k,r)} X_j \quad \forall k \in K, \forall r \in R$$

(3b) Cálculo de variables Y_{kr} .

$$\sum_{j:j \in \text{Oer}(k,r)} X_j \leq |\text{Oer}(k,r)| * Y_{kr} \quad \forall k \in K, \forall r \in R$$

(4) Límite de ofertas por empresa (opcional).

$$\sum_{j:k \in \mathcal{E}(j)} X_j \leq \text{MAXofeemp}(k) * Y_{kr} \quad \forall k \in K$$

(5) Límite de empresas por región (opcional).

$$\text{MINempreg}(r) \leq \sum_{k \in K} Y_{kr} \leq \text{MAXempreg}(r) \quad \forall r \in R$$

(6) Descartar ofertas que salen de la banda de precios (opcional).

$$X_j = 0 \text{ si } C_j(\text{estralim}, \text{niveldda}, \text{maestro}, F.O) < C_j^{\text{banda}}(\text{estralim}, \text{niveldda}, \text{maestro}, F.O) \quad \forall j \in J$$

(7) Integralidad de las variables.

$$X_j, Y_{kr} \in \{0,1\}$$

Las restricciones (1) definen un clásico problema de cubrimiento, donde las U.T. son los elementos a cubrir y las ofertas los elementos cubridores. Las restricciones constituyen un multi-knapsack. Las restricciones (3) obligan a activar las variables Y sólo cuando se han activado las correspondientes variables X. Las restricciones (4) y (5) son cotas generalizadas para las variables X e Y respectivamente.

El número de variables binarias es aproximadamente 4600. El modelo en su conjunto es la combinación de clásicos problemas combinatoriales, cada uno de ellos NP-completo. Como se dijo en la Sección 3, la cantidad de instancias del modelo a resolver eran 704 y el tiempo para hacerlo escaso, por lo cual era importante que la resolución de cada instancia tomará un tiempo pequeño. Por ello, y dada la potencial complejidad del problema, se agregaron restricciones al

modelo de modo de fortalecer la relajación lineal de la formulación. En primer lugar, se agregaron los siguientes planos de corte, redundantes con el conjunto de restricciones (2) del modelo, pero que robustecen la relajación lineal del problema entero:

$$\sum_{(j:k=e(j)) \wedge (|u(j)| > \frac{MAX_{untemp}(k)}{2})} K_j \leq 1 \quad \forall k \in K$$

Estas restricciones que tienen una validez evidente, se conocen como “packing” y son muy utilizadas para formular problemas de knapsack o de estable máximo (Nemhauser y Wolsey (1988)). Adicionalmente, para algunas instancias se desacoplaron las restricciones (3b) de la siguiente forma:

$$X_j \leq Y_{kr} \quad \forall j \in oer(k,r), \quad \forall k \in K, \quad \forall r \in R$$

Esta técnica de fortalecimiento, frecuente en modelos de localización no capacitados, entregó un modelo “expandido” con mejor relajación lineal que el original, pero de mayor tamaño. La idea consistía en que la formulación “expandida” requería menos iteraciones en la etapa de ramificación y acotamiento pero cada iteración era más costosa en tiempo porque el modelo era mayor. Esta formulación se utilizó en las instancias más difíciles con buenos resultados.

✓ **Análisis crítico del artículo**

MODELO MATEMÁTICO DEL ARTÍCULO	MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO
La función objetivo busca minimizar el costo total de la asignación para estructura alimentaria, nivel de demanda y maestro, dependiendo si se considera o no la calificación global de	La función objetivo busca disminuir los costos de la intervención del Plan anual de nutrición con alimentos nutritivos, mediante la evaluación nutricional (tamizaje nutricional o riesgo de

MODELO MATEMÁTICO DEL ARTÍCULO	MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO
desempeño en la asignación.	desnutrición), por recursos asignados y por personal asignado a los programas.
<p>Las restricciones planteadas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Unidades territoriales. • Límite de unidades territoriales. • Cálculo de variables. • Límite de ofertas por empresa. • Límite de empresas por región. • Descartar ofertas que salen de la banda de precios. • Integrabilidad de las variables. 	<p>Las restricciones planteadas son:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Los tipos de raciones alimenticias ✓ La cantidad de tamizajes nutricionales a aplicar ✓ La cantidad de identificación de necesidades nutricionales a aplicar ✓ Integrabilidad de las variables
<p>Las variables del modelo son:</p> <p>El conjunto de regiones geográficas del país, el conjunto de unidades territoriales, el conjunto de empresas participantes y el conjunto de ofertas presentadas.</p>	<p>Las variables el modelo propuesto contendrá:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Número de evaluaciones nutricionales a través de cada tipo (anamnesis nutricional, examen físico y examen de laboratorio). • Número de recursos por asignar para cada tipo de evaluación nutricional. • Toneladas de alimentos nutritivos por entregar en la semana a los centros educativos, especificando horario. • Número de recursos por asignar a la operación de identificación de necesidades nutricionales (déficit de peso, exceso de peso y etiología).

MODELO MATEMÁTICO DEL ARTÍCULO	MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO
	<ul style="list-style-type: none"> • Número de personas para la elaboración de los menús.

Fuente: Elaboración propia

- **Criterio de Búsqueda**

Google: Estructura alimentaria

http://www.dii.uchile.cl/~ris/articulos/art_junaeb.pdf

5.1.6 A total body protein mass: validation of total body potassium prediction model in children and adolescents (Wang et al, 2006)

- **Author**

ZiMian Wang, Stanley Heshka, Jack Wang, and Steven B. Heymsfield

Obesity Research Center, St. Luke's-Roosevelt Hospital, Columbia University College of Physicians and Surgeons, New York, NY

- **Objective**

Protein is a body component affected by many physiological and pathological processes, including growth, development, nutritional status, physical activity, and diseases. Alterations in protein can, in turn, serve as a biomarker of relevant physiological and pathological conditions. Although total body nitrogen (TBN)³ measured by in vivo neutron activation (IVNA) analysis can be applied as the criterion for total body protein (TBPro) estimation, application is limited, especially for measurements in children and adolescents, due to radiation exposure (1). Therefore, the estimation of TBPro in healthy children and adolescents remains

impractical or difficult, and there are only a few reports in the literature regarding protein mass in pediatrics (2–4).

We recently reported a model for predicting TBPro (in kg) from total body potassium (TBK, in mmol) and bone mineral (Mo, in kg): $TBPro = 0.00252 \times TBK + 0.732 \times Mo$ (5). This model is based on observations that both potassium and protein distribute mainly within the intracellular compartment and that intracellular potassium and protein concentrations are relatively stable. In addition to this physiological model, we developed an empirical TBPro prediction method from fat-free mass (FFM, in kg) in healthy adults, $TBPro = 0.199 \times FFM + 0.45$ (6). Although the TBK-Mo TBPro model was validated in healthy adults and patients with several chronic diseases (5,7), it is not known whether the model is applicable in pediatric subjects. The aims of the present study were to first develop a TBK-independent TBPro model as a practical reference for estimating TBPro mass, and then to evaluate the applicability of the TBK-Mo models in children and adolescents. In addition, we evaluated the applicability of the adult FFM TB Pro method in children and adolescents.

- **Summary**

Protein is an important body component for monitoring growth, development, and nutritional status. We previously developed a total body potassium (TBK, in mmol) and bone mineral (Mo, in kg) model for predicting total body protein (TBPro, in kg) in adults ($TBPro = 0.00252 \times TBK + 0.732 \times Mo$). However, the applicability of the TBK-Mo model for children is unknown. The study aims were to develop a TBK-independent 6-component (6-C) TBPro approach as the criterion, and then to validate the TBK-Mo model in children. The following measurements were made in adolescents and children (n=62, 38 boys and 24 girls, aged 5–17 y): body weight (BW, in kg), body volume (BV, in liters) by air displacement plethysmography, total body water (TBW, in kg) by $2H_2O$ dilution, Mo by dual-energy X-ray absorptiometry, and TBK by whole-body counting. A 6-C model was derived as

$TBPro = 2.922 \times BW - 0.301 \times TBW - 2.039 \times Mo - 2.632 \times BV$. The TBPro estimates did not differ between the 6-C and TBK-Mo models (mean \pm SD, 0.20 \pm 0.86 kg). There was a significant correlation between TBPro by the 6-C and TBK-Mo models ($r = 0.94$, $P = 0.001$). Bland-Altman analysis indicated that the differences between TBPro by 6-C and TBK-Mo models were not significantly correlated with the mean TBPro estimates by the 2 models ($r = 0.032$, $P = 0.05$). The TBK-Mo model can thus be used to estimate TBPro in healthy adults, adolescents, and children ≥ 5 y old. *J. Nutr.* 136: 1032–1036, 2006.

- Subjects and Methods**

Six-component TBPro model Total body nitrogen measured by IVNA is currently the criterion for TBPro estimation (1). However, IVNA is inappropriate for use in children and adolescents because of the associated radiation exposure (0.26 mSv). A 6-component (6-C) approach was thus developed and applied as a practical criterion in the present study. Body weight (BW) can be expressed as the sum of fat, total body water (TBW), TBPro, Mo, soft-tissue mineral (Ms), and glycogen (Gly) (8). Accordingly, $BW = fat + TBW + TBPro + Mo + Ms + Gly$. A 6-C TBPro model was derived from Eq. 1, $TBPro = BW - fat - TBW - Mo - Ms - Gly$. All of the major components in Eq. 2 are now measurable or calculable.

Fat mass can be measured by a multicompartment model: $fat = 2.748 \times BV - 0.699 \times TBW - 1.129 \times Mo - 2.051 \times BW$, where BV is body volume (in L) by air displacement plethysmography; TBW (in kg) is measured by 2H_2O dilution; Mo (in kg) is measured by dualenergy X-ray absorptiometry (DXA); and BW is in kg (9). In addition, Ms (in kg) can be calculated from total body water (in kg) as $Ms = 0.0129 \times TBW$ (9); and Gly (in kg) can be calculated from total body protein (in kg) as $Gly = 0.044 \times TBPro$ (10). Equation 2 can thus be converted as, $TBPro = BW - 2.748 \times BV - 0.699 \times TBW - 1.129 \times Mo - 2.051 \times BW - 0.0129 \times TBW - 0.044 \times TBPro$ or $1.044 \times TBPro = 3.051 \times BW - 2.748 \times BV$. A 6-C TBPro model can thus be derived and applied as the criterion in the present study,

$TBPro \approx 2.9223BW - 0.3013TBW - 2.0393Mo - 2.6323BV + \frac{1}{3}FFM$ TBPro model Our previous study indicated that FFM is the strongest TBPro predictor, explaining 79% of the observed between-individual variation in subjects (6). A simple prediction equation was derived for healthy adults, $TBPro (kg) \approx 0.1993 FFM (kg) - 0.45$. This empirical equation was used in the present study to predict TBPro for healthy children and adolescents.

Subjects. Adolescents and children 5 y old completed a medical evaluation including a physical examination and standard blood studies to exclude any medical conditions except overweight. Only subjects recruited for our current grant (NIDDK PO1-42618) were included in the study. Subjects participated in recreational physical activities and were not actively engaged in any sports training programs. All study subjects or their parents signed an informed consent. This investigation was approved by St. Luke's-Roosevelt Hospital's Institutional Review Board.

Body composition measurements. Subjects reported in the morning after an overnight fast and wore a hospital gown with no shoes. Body weight was measured to the nearest 0.1 kg with a Weight Tronix digital scale, and height was measured to the nearest 0.5 cm with a Holtain wall-mounted stadiometer. After completion of the baseline anthropometric measurements, subjects were evaluated with wholebody ^{40}K counting for TBK, 2H_2O dilution for TBW, air displacement plethysmography for body volume, and DXA for Mo. Total body potassium. There are 3 isotopes of potassium in nature, as well as in the human body, with isotopic abundances of 0.0118% ^{40}K , 93.1% ^{39}K , and 6.9% ^{41}K . A whole-body counter was used to detect the 1.46 MeV γ -ray of the naturally radioactive ^{40}K . The raw counts in a subject were corrected for counting efficiency using a ^{40}K phantom with a weight equivalent to the subject's weight (11). The corrected ^{40}K activity was converted to TBK. The St. Luke's 4p instrument was installed in 1967, and

updated and recalibrated in the 1990s. The reproducibility was improved from 6.4% to 2.3% for subjects with body weights as low as 20 kg (12).

Total body water. The deuterium dilution volume was measured in liters after an oral D₂O dose of 0.1 gm of D₂O/kg body weight. A saliva sample was collected 3 h later, and the D₂O concentration was measured on an infrared analyzer (13). The measurement precision of the method is 2.1% (14). The deuterium dilution volume was then converted into TBW mass (in kg) by correcting for water density at 36.8°C (i.e., TBW = deuterium dilution volume / 0.9937). Total body water measured by deuterium oxide is not different from the nonaqueous phase corrected TBW by tritium (3H₂O) dilution in our laboratory (15). Body volume. Body volume was measured by air displacement plethysmography using the BOD POD system (Life Measurements Instruments) (16,17). Use of the BOD POD in children was described previously (18,19). Subjects did not consume food and water and did not exercise for at least 2 h before testing. Minimal clothing was worn into the chamber, either underwear or a tight-fitting bathing suit, and a swim cap. Subjects were asked to remove their jewelry. Two measurements were taken for each subject and an average was applied in the study. The subject's thoracic gas volume was estimated during normal tidal breathing using a tube connected to the BOD POD breathing circuit system. Thoracic gas volume was determined as the subject puffed gently into the tube while the tube was mechanically obstructed. A detailed description of the procedure was given in an earlier report (17). The BOD POD body density measurement has a CV of 0.8% in our laboratory. Bone mineral. Bone mineral content (BMC) was estimated with a GE Lunar DXA system using software versions 6.6 and 6.7. BMC measured by DXA represents ashed bone. Each gram of bone mineral (Mo) produces 0.9582 g of ashed bone due to loss of labile components including bound water and CO₂ with combustion. BMC was thus converted to Mo as Mo = BMC/0.9582. The CV of Mo as measured by DXA is 1.3% (20,21).

- **Statistical Analysis**

Results are expressed as the group mean and standard deviation (mean \pm SD). Student's t tests were used to compare the physical characteristics of boys and girls and to compare TBPro values calculated by the different methods. Linear regression analysis was applied to describe the relations between TBK and TBPro, and between TBPro estimates by different models. The differences in TBPro estimates between models were examined using Bland-Altman analysis (22). Statistical calculations were conducted using Microsoft Excel for Windows and SPSS v12. Differences with $P < 0.05$ were considered significant.

- **Results and Discussion**

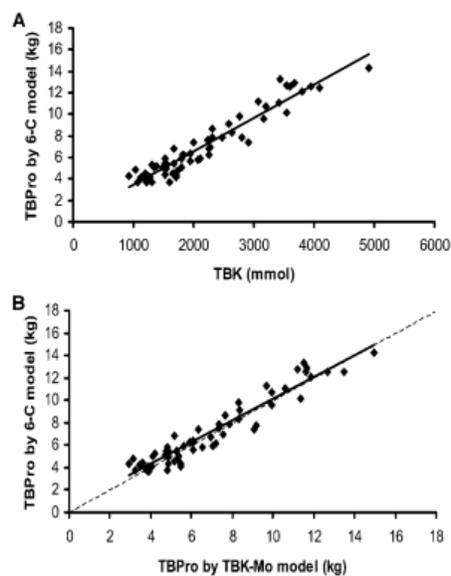
Subject characteristics. A total of 62 children and adolescents (38 boys and 24 girls) were evaluated in the study (Table 1). The boys ranged in age from 5 to 17 y, body weight from 21.4 to 108.3 kg, and BMI from 14.5 to 35.0 kg/m². The girls ranged in age from 7 to 17 y, body weight from 21.6 to 99.5 kg, and BMI from 14.0 to 37.1 kg/m². The boys and girls did not differ in age, body weight, body volume, height, BMI, %fat, and Mo (all $P > 0.05$). In contrast, there were significant differences between the boys and girls in TBK ($P = 0.044$) and FFM ($P = 0.035$).

Correlations between TBPro and TBK. Within each gender group, there were correlations between TBPro (kg) by the 6-C model and TBK (mmol), $TBPro = 0.0030 + 3 TBK - 1.071$; $r = 0.96$, $P < 0.001$ for the boys; and $TBPro = 0.0030 + 3 TBK - 1.025$; $r = 0.92$, $P < 0.001$ for the girls. The intercepts and slopes of a linear regression model did not differ between boys and girls (gender, $P = 0.75$; and gender by TBK interaction, $P = 0.58$). A single prediction equation was then calculated for all subjects pooled: $TBPro = 0.00313TBK - 1.034$ with an $r = 0.96$, $P < 0.001$, SEE = 0.85 kg; $n = 62$ (Fig. 1A). In addition, a multiple regression analysis in which TBPro was the dependent variable and TBK was the major independent variable showed that age was not associated with TBPro.

Physical characteristics and body composition of the healthy pediatric study group.
 - Total body protein mass

TBK-Mo model. Total body protein mass calculated by the 6-C model was 7.76 ± 2.94 kg in boys, 5.86 ± 1.47 kg in girls, and 7.02 ± 2.98 kg in the combined sample subjects. There were significant correlations observed for TBPro estimated by the 6-C model and the TBK-Mo model for each

Figura 6. TBK-Mo model. Tomada de The Journal of Nutrition, 2006



TBPro measured by the 6-component model in the healthy pediatric study group ($n = 62$) on the ordinate. (A) TBK measured by whole-body 40K counting on the abscissa ($TBPro = 0.0031 \times TBK + 1.034$; $r = 0.96$, $P < 0.001$, $SEE = 0.88$ kg). (B) TBPro predicted by the TBK-Mo model on the abscissa ($TBPro \text{ by 6-C model} = 0.966 \times TBPro \text{ by TBK-Mo model} + 1.043$; $r = 0.96$, $P < 0.001$; $SEE = 0.87$ kg). The line of identity is shown in the figure.

0.93; and all subjects pooled, $r = 0.94$; all $P < 0.001$; Fig. 1B). TBPro estimates did not differ between the 2 models (7.02 ± 2.98 kg by the 6-C model vs. 6.82 ± 2.95 kg by the TBK-Mo model, with mean difference 0.20 ± 0.86 kg; $P = 0.074$). Bland-Altman analysis indicated that the differences between TBPro by the 6-C model

and the TBK-Mo model were not significantly correlated with the mean TBPro estimates by the 2 models for all subjects pooled ($r = 0.032$, $P = 0.05$)

- **FFM Model**

There were significant correlations for TBPro estimated by the 6-C model and the FFM model for each gender separately and for all subjects (boys, $r = 0.97$; girls, $r = 0.94$; and all subjects pooled, $r = 0.96$; all $P < 0.001$; Table 2). The TBPro estimates did not differ between the 2 models (7.02 \pm 2.98 kg by the 6-C model vs. 6.85 \pm 2.75 kg by the FFM model, with mean differences 0.176 \pm 0.82 kg; $P = 0.10$). However,

Bland-Altman analysis indicated that the differences between TBPro by the 6-C model and FFM model were significantly correlated with the mean TBPro estimates by the 2 models for all subjects pooled ($r = 0.28$, $P = 0.05$) (Fig. 2B).

✓ **Article Critiquing**

MATHEMATICAL MODEL OF ARTICLE	PROPOSED OPTIMIZATION MODEL
The objective function seeks minimization of potassium in children and adolescents through validation of total body mass.	The objective function to reduce the costs of the intervention of the Annual Plan nutrition with nutrients through nutritional evaluation (nutritional screening or risk of malnutrition), and resources allocated for personnel assigned to programs.
The variables of the proposed model are:	The proposed model contains variables: <ul style="list-style-type: none"> • Nutritional assessments through

MATHEMATICAL MODEL OF ARTICLE	PROPOSED OPTIMIZATION MODEL
<ul style="list-style-type: none"> •Ages of children. •Adolescents Ages. • Gender of children and adolescents. •Type of food eaten daily. Amount of carbohydrates, proteins, vitamins and minerals ingested. •Nutritional status. Psychological state. 	<p>every kind (anamnesis nutritional, physical examination and laboratory test).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resources to be allocated for each type of nutritional assessment. • Tons of nutrients to be delivered in the week to schools, specifying day and time. • Resources to be allocated to the operation of identifying nutritional needs (underweight, overweight and etiology). • People for the preparation of menus.

Fuente: Elaboración propia

- **Search Criteria**

Google: Nutritional composition in children

<http://jn.nutrition.org/content/136/4/1032.full.pdf>

5.1.7 Mathematical modelling weight gain and weight loss in children and adolescents (Butte, 2008)

- **Author**

Nancy F. Butte, Ph.D.

Children's Nutrition Research Center Baylor College of Medicine

- **Objective**

Christiansen et al. (2005) published a dynamic mathematical model of weight gain in adults which integrated the increasing energy required to maintain the body and sustain weight gain.

- Butte NF, Christiansen E and Sørensen TIA (2007) developed mathematical model based on empirical data and human energetics to predict the total energy cost of weight gain and obligatory increase in energy intake and/or decrease in physical activity level associated with weight gain in children and adolescents.
- Energy partitioning into fat and lean tissue during growth
- Energetic efficiency of tissue synthesis
- Higher basal energy expenditure in children

- **Summary**

Conventionally, energy cost of growth has not been based on a dynamic mathematical model \square ECG = Energy deposition + Energy cost of synthesis:

- Energy deposition depends on the accurate assessment of body composition.
- Chemical maturation and differential contribution of various organs to weight gain influence ECG.
- Proportion of protein to fat tissue varies with age, gender and maturation.
- Energy cost of synthesis depends on the efficiency of conversion of dietary substrates into tissue constituents.

- **Specification of the Model**

BM can be partitioned into FM and FFM, determined by the data for each child.

- FM and FFM each has a specific energy content, c_f and c_{ff} , and a specific basal energy expenditure, k_f and k_{ff} .
- The conversion of surplus energy intake into FM and FFM requires specific amounts of energy, given by the efficiencies e_f and e_{ff} which are independent of energy imbalance and composition of food intake.
- Total energy expenditure = CE + DIEE + PAL · BMR
- The fraction of fat added in new tissue (fr) is independent of BM or weight gain.
- The fraction of fat added in new tissue (fr) is determined as the median for each gender-Tanner stage group.
- BM increases at a constant rate during the period.

- **Value of Constants**

k_f, k_{ff} : tissue-specific basal energy expenditure

- EE per kg FM = 6.45 kcal·kg⁻¹·d⁻¹
- EE per kg FFM = boys: 44.6, 37.9, 33.8, 30.8, 28.9 kcal·kg⁻¹·d⁻¹ (Tanner 1-5) girls: 48.2, 40.2, 34.7, 31.4, 31.0 kcal·kg⁻¹·d⁻¹ (Tanner 1-5)

c_f, c_{ff} : energy storage

- EE per kg FM = 9.25 kcal/g
- EE per kg FFM = 1.07 kcal/g

e_f, e_{ff} : efficiency energy conversion

- Fat = 0.85
- Protein = 0.42

- **Energy Cost of Weight Gain**

1. Energy stored in added tissue (C)
2. Conversion energy (CE)

$$3. EE_{ss} + EE_{added\ tissue} C = (c_{ffr} + c_{ff}(1 - fr)) BM = C_{coef} BM$$

$$CE = (c_{ffr}/e_f + c_{ff}(1 - fr)/e_{ff}) BM - C$$

$$EE_{year} = \int_0^1 y PAL \cdot BMR(t) dt$$

$$= PAL \int_0^1 y (k_{fFM}(t) + k_{ff} FFM(t)) dt$$

$$= EE_{ss} + PAL \int_0^1 y (k_{ffr} + k_{ff}(1 - fr)) BM dt$$

$$= EE_{ss} + 1/2 \cdot 365 \cdot PAL \cdot K_{coef} BM$$

Energy Cost of Growth and Energy Intake

1. Energy cost of growth in 1 year:

2. Total energy intake in 1 year with increase body mass:

$$ECG_{cost, year} = (C + CE + EE_{year} - EE_{ss, year}) / 0.9$$

$$= E_{coef} + 1/2 \cdot 365 \cdot PAL \cdot K_{coef} BM / 0.9$$

$$El_{cost, year} = (C + CE + EE_{year}) / 0.9$$

- **Findings**

1. Specific basal energy expenditure for FFM(e_{ffm}) depends on gender and Tanner stage.

2. Fraction of fat in new tissue (fr) depends on gender and Tanner stage, not BM, BMI status or rate of weight gain.

3. Median energy imbalance required to produce observed 1-y weight gains:

244 (93-448) kcal/d at PAL=1.5

267 (101-485) kcal/d at PAL=1.75

4. Energy storage equal to 24-36% of total energy cost of weight gain.

5. If physical activity is constant, total energy intake to result in 1-y weight gains:

2695 (1890-3730) kcal/d at PAL=1.5

3127 (2191-4335) kcal/d at PAL= 1.75

6. If energy intake is constant, decrease in physical activity to result in 1-y weight gains:

PAL drops 0.22 (0.08-0.34) units over 1-y

Equivalent 60 (18-105) min/d walking 2.5 mph

- **Results and Discussion**

The total energy cost of weight gain is substantially higher than estimates which do not integrate energy needs over time and thus ignore the energy required to support the increased BM.

The obligatory total energy intake or decline in physical activity required for weight gain is also substantially greater than estimated energy requirements for the development of childhood obesity.

- **Article Critiquing**

MATHEMATICAL MODEL OF ARTICLE	PROPOSED OPTIMIZATION MODEL
The mathematical model is based on: $ECG = \text{Energy deposition} + \text{Energy cost of synthesis de niños y adolescentes.}$	The mathematical model is based on the costs associated with nutritional assessment tasks, identification of nutritional needs, annual plan intervention nutrition and nutritional evaluation of care children Comuna Río Otún 2008-2011.
The objective function minimizes the energy stored in added tissue.	The objective function to reduce the costs of the intervention of the Annual Plan nutrition.
The variables of the proposed model are: Tissue-specific basal energy expenditure, energy storage and the efficiency energy conversion.	The proposed model contains variables: <ul style="list-style-type: none"> • Nutritional assessments through every kind (anamnesis nutritional, physical examination and laboratory test). • Resources to be allocated for each type of nutritional assessment.

	<ul style="list-style-type: none"> • Tons of nutrients to be delivered in the week to schools, specifying day and time. • Resources to be allocated to the operation of identifying nutritional needs (underweight, overweight and etiology). • People for the preparation of menus.
--	---

Fuente: Elaboración propia

- **Search Criteria**

Google: Inadequate nutrition in adolescents

http://www.nimbios.org/workshops/talks/WS_metabolism_butte.pdf

5.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La Programación Lineal es una herramienta de la Investigación de Operaciones, y es tema fundamental en la cual se apoyó este trabajo investigativo.

- **Modelo general de Programación Lineal²**

Un problema de programación lineal puede escribirse en forma compacta como:

Optimizar (maximizar o minimizar) una función lineal $z(x)$, que denominamos función objetivo, sujeta a una serie de restricciones, dadas mediante ecuaciones e inecuaciones lineales y expresadas a través de las variables de decisión x , los coeficientes tecnológicos y recursos disponibles, los cuales son constantes (Morales, 2011).

Cada desigualdad lineal anterior delimita el espacio de soluciones y el conjunto de los puntos que cumple todas las desigualdades determina el denominado espacio

² MORALES CHÁVEZ, Marcela. Modelo de optimización para la operación de corte, alce, arrastre, transporte y entrega de caña de azúcar. UTP, 2011

de soluciones o región factible. Se denomina solución óptima a la solución factible que optimiza la función objetivo (Gallego et al, 2007).

Ciertos símbolos se usan de manera convencional para denotar las distintas componentes de un modelo de programación lineal. Estos símbolos se enumeran a continuación junto con su interpretación para el problema general de asignación de recursos a actividades.

Z = valor de la medida global de efectividad

x_j = nivel de la actividad j (para $j=1,2,\dots,n$)

c_j = incremento en Z obtenido al aumentar una unidad en el nivel de la actividad j .

b_i = cantidad de recurso i disponible para asignar a las actividades (para $i=1,2,\dots,m$).

a_{ij} = cantidad del recurso i consumido por cada unidad de la actividad j .

El modelo establece el problema en términos de tomar decisiones sobre los niveles de las actividades, por lo que x_1, x_2, \dots, x_n , se llaman variables de decisión, los valores de c_j, b_i y a_{ij} (para $i=1,2,\dots,m$ y $j=1,2,\dots,n$) son las constantes de entrada al modelo también conocidas como parámetros del modelo.

Forma estándar del modelo:

Maximizar $Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$

Sujeta a las restricciones:

$$a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n \leq b_1$$

$$a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n \leq b_2$$

.

$$a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n \leq b_m$$

y $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0.$

- **Programación Lineal Entera**

En muchos problemas prácticos, las variables de decisión sólo tienen un sentido real si su valor es entero. Si el hecho de exigir valores enteros es la única diferencia que tiene un problema con la formulación de programación lineal, entonces se trata de un problema de programación entera (PE).

El modelo matemático para programación entera es sencillamente el modelo de programación lineal con la restricción adicional de que las variables deben tener valores enteros. Si solo es necesario que algunas de las variables tengan valores enteros y la suposición de divisibilidad se cumple para el resto, el modelo se conoce como uno de programación entera mixta (PEM) (Fernandez et al, 2010).

Se han desarrollado numerosas aplicaciones de programación entera que involucran una extensión directa de programación lineal en la que debe eliminarse la suposición de divisibilidad. Sin embargo, existe otra área de aplicación que puede ser mucho más importante, como el problema que incluye cierto número de “decisiones sí o no” interrelacionadas. En las decisiones de este tipo, las únicas dos elecciones posibles son sí o no.

Con solo dos posibilidades, este tipo de decisiones se puede representar mediante variables de decisión restringidas a sólo dos valores, por ejemplo 0 y 1. Así, la j -ésima decisión sí o no se puede representar por x_j , tal que

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{si la decisión } j \text{ es sí} \\ 0 & \text{si la decisión } j \text{ es no.} \end{cases}$$

Las variables de este tipo se llaman variables binarias (o variables 0-1). En consecuencia, algunas veces se hace referencia a los problemas de programación

entera que contienen sólo variables binarias como problemas de programación entera binaria (PEB) (o problemas 0-1 de programación entera).

5.3 MARCO LEGAL

Dadas las características de la nutrición infantil, conforme al ordenamiento legal sobre la protección y desarrollo de los niños y niñas, es necesario puntualizar que hoy en Colombia existen los siguientes regímenes, a saber:

- Convención Internacional sobre los Derechos del Niño. Naciones Unidas, 20 de noviembre 1989: Su espíritu es transformar a niñas y niños en sujetos de una amplia gama de derechos y libertades, reconoce su dignidad como personas y en consecuencia el cumplimiento de sus derechos se hace obligatorio y jurídicamente exigible
- Cumbre Mundial en Favor de la Infancia. 1990: Los jefes de estado suscribieron la Declaración mundial para la supervivencia, protección y desarrollo de los niños del mundo. Se plantearon obligaciones en los campos de salud, nutrición, protección, educación, agua potable y saneamiento básico
- Plan Nacional de Acción en Favor de la Infancia PAFI. Presidencia de la República, DNP y la cooperación de Unicef, 1992: Se instituyó dentro del marco anterior y retomando los planteamientos de la Convención Internacional de los Derechos del Niño y de la Cumbre Mundial en Favor de la Infancia.
- Pacto por la Infancia: Contempla la elaboración de planes territoriales, con acciones en los ámbitos nacional, departamental y municipal con el propósito de comprometer a las instituciones y a los diferentes sectores con

la supervivencia, desarrollo, protección y participación de los niños, niñas y adolescentes.

- Resolución 4288/96: El PAB está orientado a desarrollar actividades, procedimientos e intervenciones tales como promover la cultura de la salud y crear condiciones ambientales saludables en la familia, la escuela, el trabajo y la población en general. Es formulado y ejecutado por el alcalde a través de los distintos sectores, concertado con la comunidad y responde a las características socioculturales de la población. Es el escenario por excelencia para incorporar soluciones a la problemática de salud de los escolares.
- Ley 1176 de 2007: Título IV - Capítulo I - Asignación especial Para Alimentación Escolar.

6. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS

6.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según la metodología a utilizar, se realizará una Investigación Cuantitativa de tipo Descriptiva puesto que se parte de una necesidad - problema y unos objetivos que son claramente definidos por El investigador, donde se han planteado preguntas de investigación para ser resueltas mediante pruebas empíricas.

Se utilizarán técnicas estadísticas debidamente estructuradas para la recolección y el análisis de la información. Partiendo de tal punto, se investigará a fondo sobre un grupo definido por todos los niños y niñas de la Comuna Río Otún de Pereira, a fin de evaluar la intervención de la administración Municipal en la nutrición infantil durante los años 2008 – 2011.

Los datos que se obtendrán se relacionarán con el estado actual de la población en estudio. Al utilizar este tipo de investigación se espera explorar sobre la eficacia, eficiencia y efectividad de la intervención de la administración, de tal manera que se puedan aclarar conceptos y variables planteadas y determinar la manera de mediarlas (Bernal, 1999).

6.2 TIPO DE METODOLOGÍA

Primeramente se realizará una prueba piloto en un grupo de 15 niños y 15 niñas de la Comuna Río Otún de Pereira pertenecientes al Plan Anual de Nutrición durante los años 2008 - 2011. El grupo que formará parte de la prueba piloto no puede entrar a formar parte de la muestra poblacional, a quienes se les indagará sobre las categorías del estudio: mejoramiento de la calidad alimenticia, disminución en la aparición de enfermedades, mejoramiento de la calidad de vida, entre otras. Con los resultados obtenidos se elaborará la encuesta oficial.

Logísticamente, se contará con dos ayudantes para la aplicación de la encuesta en la población muestral, de tal manera que se asegure la objetividad del proceso.

6.3 VARIABLES E INDICADORES DE INVESTIGACIÓN

Las variables e indicadores de investigación que pueden afectar la realización del proyecto son:

- La disminución y aumento de la demanda de niños(as).
- La cantidad de niños(as) en el núcleo familiar.
- La oferta de los cupos infantiles.
- Directivas municipales, administrativos y profesionales especializados en la planeación, coordinación y desarrollo de actividades sociales.
- El presupuesto asignado para el Plan Anual de Nutrición.
- Los recursos humanos requeridos para el desarrollo de las actividades del Plan Anual de Nutrición de la Administración Municipal de Pereira.

6.4 HERRAMIENTAS METODOLÓGICAS

- **Fuentes Primarias**

Como fuentes primarias de información se tendrá el contacto con los niños y niñas beneficiarios del Plan Anual de Nutrición de la Comuna Río Otún de Pereira y que han recibido el auxilio durante los años 2008 - 2011.

- **Fuentes Secundarias**

Secretaría de Desarrollo Social, Oficina de Atención a Comunidades, Secretaría de Salud y Seguridad Social, Secretaría de Planeación Municipal de Pereira, Docentes de la Universidad Tecnológica de Pereira y Bibliotecas del Banco de la República, Municipal y UTP.

- **Tratamiento de la Información**

Se aplicarán encuestas, de las cuales se obtendrá información que se organizará y sistematizará ordenadamente para presentarla de tres maneras diferentes: Tabla de Datos que constará de cantidad y participación frente al total de niños y niñas en análisis, Gráfico Estadístico de Datos y la respectiva explicación del resultado obtenido.

- **Población**

La población escogida para realizar el estudio metodológico requerido está representada por todos los niños y niñas beneficiarios del Plan Anual de Nutrición de la Comuna Río Otún de Pereira y que han recibido el auxilio durante los años 2008 - 2011.

La población en estudio cumple los siguientes requisitos óptimos para llevarse a cabo el proyecto:

- Son niños(as) en condición de vulnerabilidad menores de 12 años y que están escolarizados.
- Pertenecen al SISBÉN nivel 1 o 2 y
- Pertenecen Familias en situación de invasión.

- **Muestra**

El tamaño de la muestra requerida para elaborar el estudio metodológico por medio de encuestas, será hallado por el método Aleatorio Simple, puesto que la población escogida es homogénea ya que cuenta con similares características. Además, la población se encuentra totalmente localizada en la Comuna Río Otún de la ciudad de Pereira, lo cual permite que la muestra encontrada sea representativa del total de entidades en estudio.

Convenciones a utilizar:

z: Variable estándar o tipificada

P: Posibilidad de éxito

Q: Posibilidad de fracaso

e: Margen de error

N: Tamaño de la Población

n: Tamaño de la Muestra

SIENDO:

z = 95%

s = 1,96

P = 50%

Q = 50%

e = 6%

N = 2.296

Estadísticamente, lo anterior significa que se utilizó un nivel de confianza del 95%, y un margen de error del 8% en cada uno de los análisis realizados durante el proceso, y para tal calificación se encuentra en las tablas estadísticas una desviación estándar de 1,96. Las posibilidades de fracaso o de éxito cuentan con un mismo porcentaje de participación es decir, la probabilidad de tener éxito con el proyecto es igual a la de obtener un fracaso.

HALLANDO:

$$n = [(s^2) * (P*Q*N)] / [(e^2) * (N - 1) + (s^2) * (P*Q)]$$

$$n = [(1.96^2) * (0.5*0.5*2,296)] / [(0.08^2) * (2,295) + (1.96^2) * (0.5*0.5)]$$

$$n = [2,205.0784 / 9.2224] = 239.10 \text{ Niños(as)}$$

$$= 240 \text{ Niños(as)}$$

El tamaño de la muestra requerida para llevar a cabo el estudio es de 240 Niños(as), partiendo de una población total de 2.296 Niños(as) de la Comuna Río Otún, que han sido parte integral del Plan Anual de Nutrición de la Administración Municipal de Pereira durante el año 2011 (Oficina de atención a comunidades de la Alcaldía Municipal de Pereira, 2012).

7. METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA EL ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO DE LA EFECTIVIDAD DEL PLAN ANUAL DE NUTRICIÓN EN LOS NIÑOS Y NIÑAS DE LA COMUNA RÍO OTÚN DE LA CIUDAD DE PEREIRA 2008 - 2011

Cumpliendo con lo solicitado por el Ministerio de la Protección Social (MINSALUD, 2013), de preservar la salud pública, las intervenciones de la Alcaldía de Pereira realizadas mediante la ejecución del Plan Anual de Nutrición durante los años 2008 y 2011 han contribuido de manera positiva al mejoramiento de la salud de los niños y niñas de la Comuna Río Otún. La realización de actividades que propenden por la recuperación y control de la calidad nutritiva de los infantes, ha permitido avanzar en construcción de un mejor futuro para la población.

Para esto, el presente trabajo realizara dicha en investigación en dos etapas:

- Evaluación de las acciones alimentarias llevadas a cabo en la comuna del Río Otún por el plan anual de nutrición de la alcaldía de Pereira durante los años 2008-2011 mediante un análisis descriptivo
- Elaboración de un modelo de optimización de programación lineal entera para el plan anual de nutrición de la comuna del Río Otún en la ciudad de Pereira en la vigencia 2008-2011

7.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS ACCIONES ALIMENTARIAS, LLEVADAS A CABO EN EL COMUNA RÍO OTÚN POR EL PLAN ANUAL DE NUTRICIÓN DE LA ALCALDÍA DE PEREIRA DURANTE LOS AÑOS 2008 - 2011, MEDIANTE LA REALIZACIÓN DE ENCUESTAS ESTRUCTURADAS.

Para el logro de este objetivo, El investigador y dos ayudantes se desplazaron a realizar las encuestas en cada uno de los hogares de los niños y niñas que pertenecen al Plan Anual de Nutrición PAN, y que formaron parte de la muestra representativa. Para ello, se utilizaron los procedimientos de interrogación con el fin de obtener la información sobre las acciones alimentarias desarrolladas en la Comuna Río Otún y poder relacionarlas con la identificación de la infraestructura del hogar y los mecanismos de alimentación, tratados en el marco teórico.

La Alcaldía de Pereira busca con el desarrollo del Plan Anual de Nutrición en la Comuna Río Otún proteger integralmente a las niñas y niños entre los 2 y 13 años en situación de vulnerabilidad nutricional y pobreza, de cualquier daño que afecte su desarrollo y potencial.

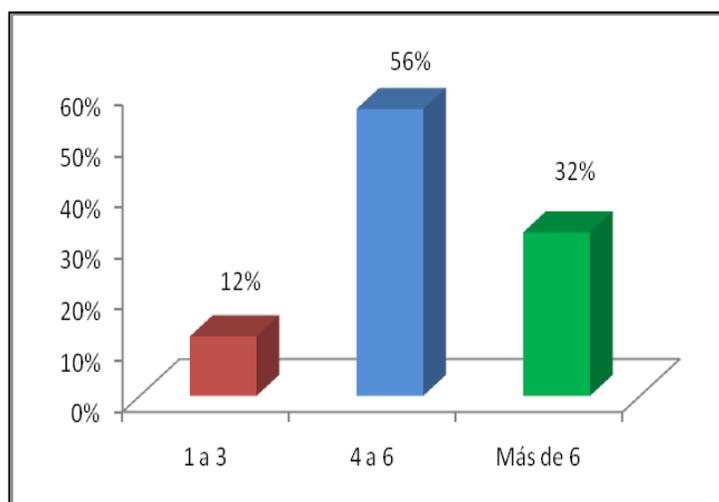
Durante la realización del trabajo de campo a las comunidades de la Comuna Río Otún se constató la incidencia que tiene la pobreza como privador de la satisfacción de las necesidades básicas en los hogares, en particular las necesidades materiales. El número de personas que viven en un mismo hogar define la estimación de una línea de pobreza, definida como el costo mínimo de una canasta de bienes y servicios que satisfaga las necesidades básicas (alimentación, vivienda, vestido, educación y salud), siendo ésta más arraigada en hogares con mayor número de integrantes (Feres, 2001).

Tabla 9. Número de personas en el hogar de los niños y niñas pertenecientes al PAN de la Comuna Río Otún.

RANGO	CANTIDAD DE HOGARES	PARTICIPACIÓN (%)
1 a 3	28	12
4 a 6	135	56
Más de 6	77	32
TOTAL	240	100

Fuente El Investigador

Figura 7. Número de personas en el hogar de los niños y niñas pertenecientes al PAN de la Comuna Río Otún.



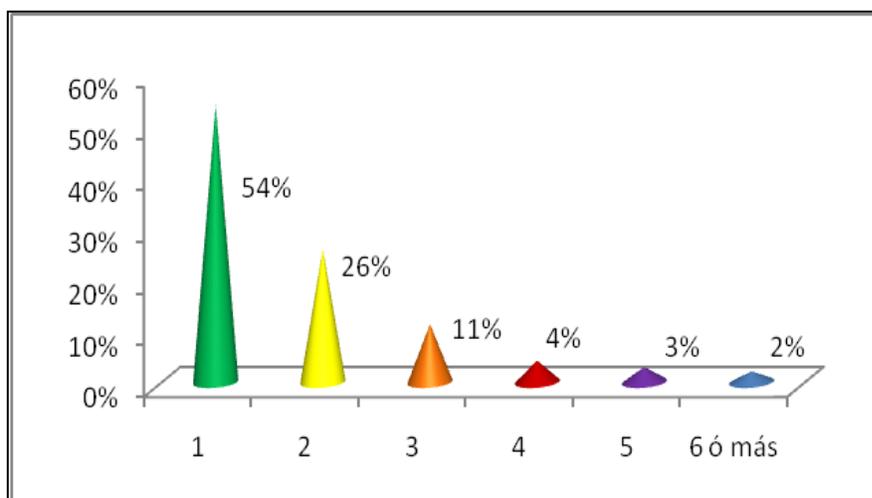
Como puede observarse en el gráfico anterior, el 12% de los hogares encuestados tienen entre 1 y 3 habitantes, mientras que el 56% tienen entre 4 y 6 personas y el restante 32% cuentan con más de 6 habitantes; lo cual define la línea de vulnerabilidad (indicador que define la línea de pobreza de acuerdo al número de habitantes por hogar en un sector de fuerte vulnerabilidad).

El Programa Anual de Nutrición, PAN, trata de llegar a cada uno de los hogares de la Comuna Río Otún donde viven niños y niñas, con el fin de reducir en dos puntos los índices globales de desnutrición. La tabla 10 muestra el número de niños y niñas pertenecientes al PAN, por hogar encuestado.

Tabla 10. Número de niños y niñas pertenecientes al PAN de la Comuna Río Otún.

NÚMERO DE NIÑOS Y NIÑAS	CANTIDAD DE HOGARES	PARTICIPACIÓN (%)
1	129	54
2	62	26
3	27	11
4	10	4
5	7	3
6 ó más	5	2
TOTAL	240	100

Figura 8. Número de niños y niñas pertenecientes al PAN de la Comuna Río Otún.



Fuente: El Investigador

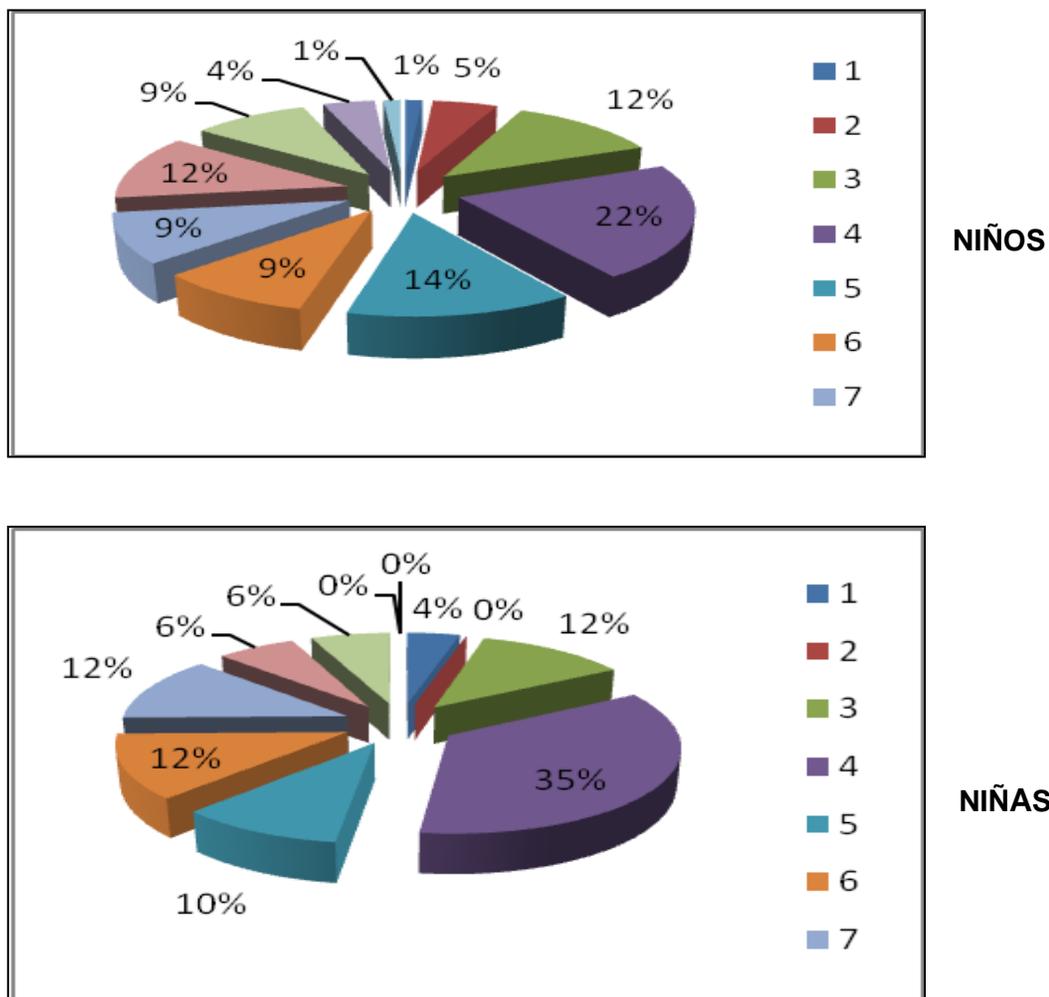
El 54% de los hogares cuentan con 1 niño o niña perteneciente al Plan de Nutrición, el 26% tiene 2 niños, el 11% tiene 3 niños, el 4% cuenta con 4 niños, el 3% cuenta con 5 niños y el 2% tiene 6 o más niños.

La desnutrición es un fenómeno multicausal asociado directamente a: deficiencias, excesos o desequilibrios en la alimentación; hábitos culturales inadecuados; precarios servicios de salud; a una pobreza que limita el acceso y capacidades para adquirir alimentos; así como a la marginación que no permite tener acceso a los alimentos; siendo más factible su padecimiento en niños y niñas de edades inferiores a 10 años. A continuación se muestran las edades de los infantes del sector y que hacen parte del PAN:

Tabla 11. Edades de los niños y niñas pertenecientes al PAN de la Comuna Río Otún

EDADES	CANTIDAD DE NIÑOS	PARTICIPACIÓN (%)	CANTIDAD DE NIÑAS	PARTICIPACIÓN (%)
2	4	1	8	4
3	15	5	0	0
4	0	0	0	0
5	35	12	23	12
6	62	22	66	35
7	39	14	19	10
8	27	9	23	13
9	27	9	23	13
10	35	12	12	6
11	27	9	12	6
12	12	4	0	0
13	4	2	0	0
TOTAL	287	100	186	100

Figura 9. Edades de los niños y niñas pertenecientes al PAN de la Comuna Río Otún



Fuente: El Investigador

En relación a las edades de los niños pertenecientes al Plan de Nutrición, el 1% de los niños tienen 2 años, el 5% tienen 3 años, el 12% tienen 5 años, el 22% tienen 6 años, el 14% tienen 7 años, el 9% tienen 8 y 9 años respectivamente, el 12% tienen 10 años, el 9% tienen 11 años, 4% tienen 12 años y el restante 2% tiene 13

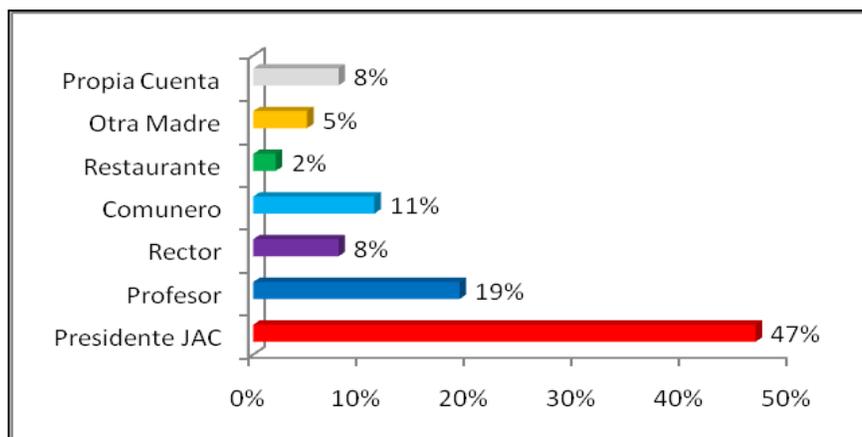
años. En cuanto a las edades de las niñas, el 4% de las niñas tienen 2 años, el 12% tienen 5 años, el 35% tienen 6 años, el 10% tienen 7 años, el 12% tienen 8 y 9 años respectivamente, el 6% tienen 10 años y el restante 6% tienen 11 años.

Para que los niños y niñas hagan parte del Plan, deben ser inscritos por un familiar mayor de edad. Son muchas las fuentes de información:

Tabla 12. Fuente de conocimiento del PAN de los niños y niñas de la Comuna Río Otún

ITEM	CANTIDAD DE MADRES	PARTICIPACIÓN (%)
Presidente JAC	112	47
Profesor	46	19
Rector	19	8
Comunero	27	11
Restaurante	5	2
Otra Madre	12	5
Propia Cuenta	19	8
TOTAL	240	100

Figura 10. Fuente de conocimiento del PAN de los niños y niñas de la Comuna Río Otún



Fuente: El Investigador

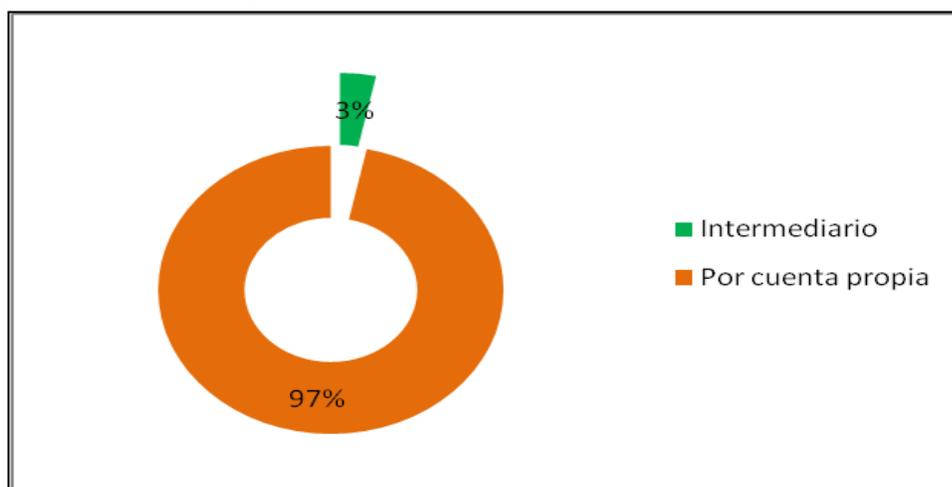
Cuando se indagó sobre el cómo se enteró de la existencia del Plan Anual de Nutrición, el 47% lo hizo por medio del Presidente de la JAC, el 19% por un profesor de la Escuela, el 8% por el Rector de la Escuela, el 11% por un Comunero, el 2% por medio del Restaurante, el 5% por otra Madre y el 8% por Cuenta propia.

De igual manera, la inscripción de los infantes al Plan anual de Nutrición puede hacerse personalmente o haciendo uso de un intermediario. A continuación se detalla el medio utilizado por los padres o acudientes de los niños y niñas al momento de su registro:

Tabla 13. Medio de ingreso de los niños y niñas al PAN de la Comuna Río Otún

TIPO	CANTIDAD DE MADRES	PARTICIPACIÓN (%)
Intermediario	8	3
Por cuenta propia	232	97
TOTAL	240	100

Figura 11. Medio de ingreso de los niños y niñas al PAN de la Comuna Río Otún



Fuente: El Investigador

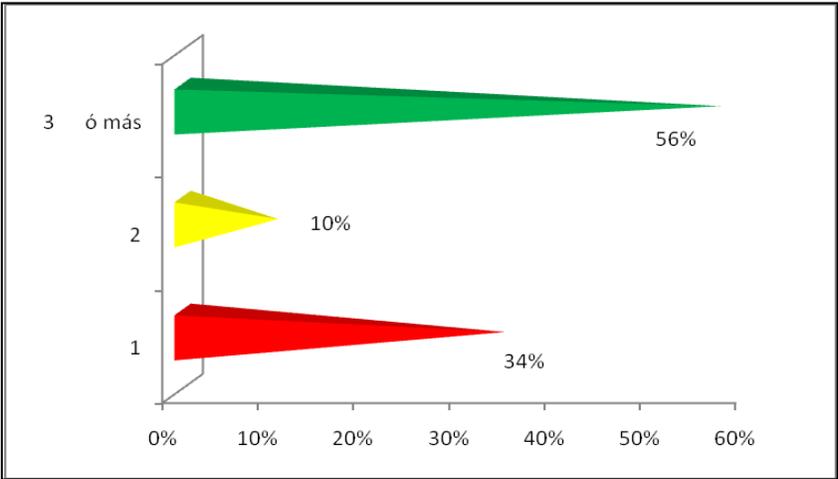
Para ingresar los niños y niñas al Plan, el 97% de las madres lo hizo por cuenta propia y el 3% hizo uso de un intermediario.

Es muy importante para que el desarrollo del Plan se ejecute eficientemente, contar con la permanencia de los niños y niñas de la Comuna como beneficiarios. En la siguiente tabla se relacionan los años de permanencia:

Tabla 14. Número de años de permanencia de los niños y niñas en el PAN de la Comuna Río Otún

AÑOS	CANTIDAD DE NIÑOS Y NIÑAS	PARTICIPACIÓN (%)
1	81	34
2	24	10
3 ó más	135	56
TOTAL	240	100

Figura 12. Número de años de permanencia de los niños y niñas en el PAN de la Comuna Río Otún



Fuente: El Investigador

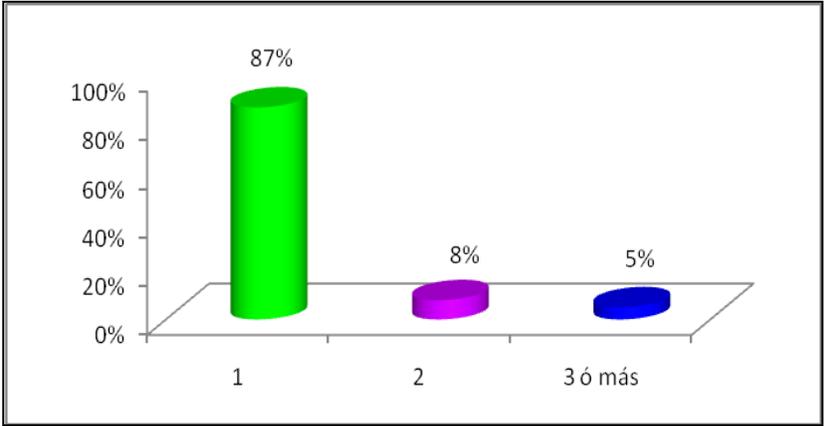
El 34% de los niños y niñas llevan 1 año en el Plan de Nutrición, el 10% llevan 2 años y el 56% llevan en el Plan 3 años o más.

Durante el trabajo de campo, El investigador verificó de primera mano que las actividades son llevadas a cabo por madres comunitarias entrenadas en la elaboración de los alimentos, los cuales son servidos en los restaurantes escolares a cada uno de los 2.296 niños y niñas de las comunidades de Río Otún. El número de alimentos que un niño o niña recibe diariamente como parte del Plan se detalla seguidamente.

Tabla 15. Número de raciones recibidas diariamente por los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún

ITEM	PARTICIPACIÓN (% de niños)
1	87
2	8
3 ó más	5
TOTAL	100%

Figura 13. Cantidad de alimentos recibidos diariamente por los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún



Fuente: El Investigador

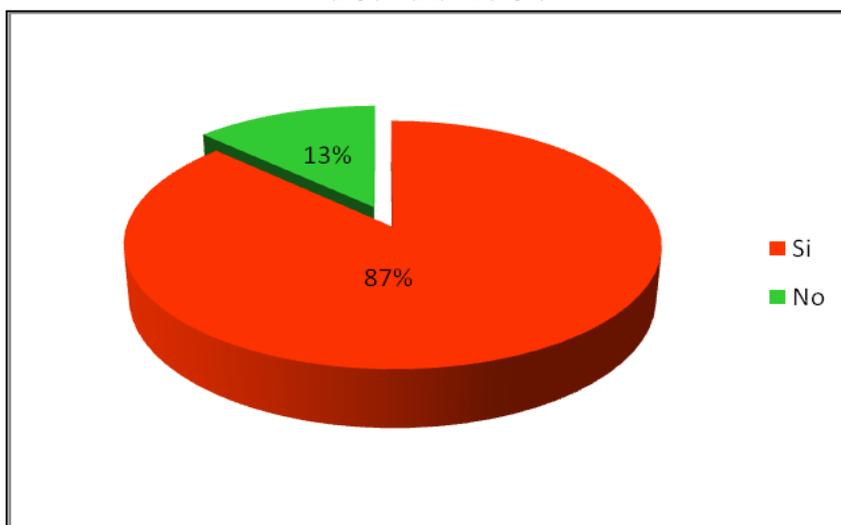
Sobre el número de raciones que reciben los niños y niñas diariamente, el 87% dijo que 1, el 8% expresó que dos comidas y el 5% que 3 o más.

Además, la ejecución del PAN incluye la visita de funcionarios de la Alcaldía encargados de llevar a cabo jornadas de educación en nutrición, higiene personal y del ambiente, en las escuelas y en los hogares de los niños beneficiados con el Plan.

Tabla 16. Número de visitas del personal de la Alcaldía recibidas por los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún

OPINIÓN	CANTIDAD DE MADRES	PARTICIPACIÓN (%)
Si	209	87
No	31	13
TOTAL	240	100

Figura 14. Número de visitas del personal de la Alcaldía recibidas por los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún



Fuente: El Investigador

El 87% de los hogares de los niños y niñas han recibido visitas del personal de la Alcaldía de Pereira como parte del apoyo al Plan de Nutrición y el 13% nunca los ha recibido.

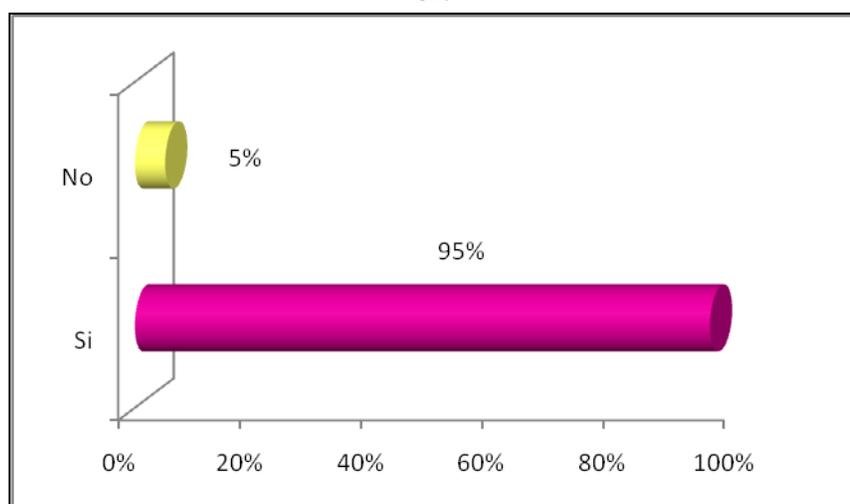
Sobre la manera en que se entregan los alimentos, la gran mayoría de los niños y niñas se sienten bien con el procedimiento, como se muestra en la tabla y el grafico siguiente

:

Tabla 17. Aprobación de la forma de distribución de los alimentos a los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún

¿Aprueba?	CANTIDAD DE MADRES	PARTICIPACIÓN (%)
Si	228	95
No	12	5
TOTAL	240	100

Figura 15. Forma de distribución de los alimentos a los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún



Fuente: El Investigador

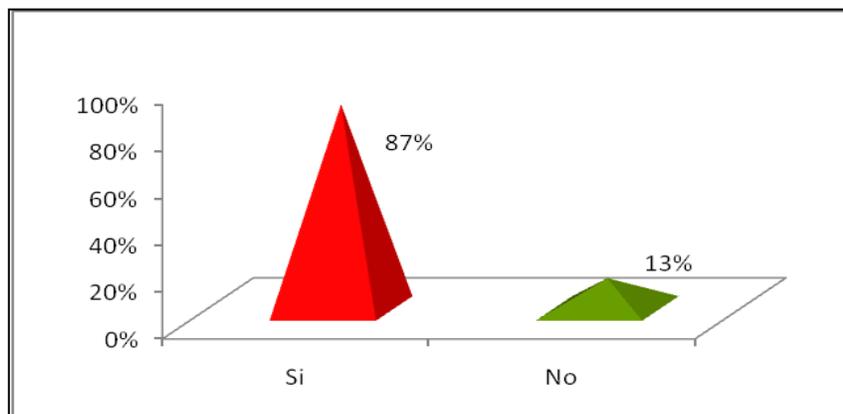
El 95% de las madres de los niños y niñas pertenecientes al Plan están de acuerdo con la forma como se distribuyen los alimentos a los niños y niñas (principalmente por que las manipuladoras son ordenadas y decentes con los niños y niñas), mientras que el 5% no están de acuerdo.

Las madres de los niños y las niñas, respondieron acerca de la distribución ágil y respetuosa de alimentos, de la siguiente manera:

Tabla 18. Aprobación de la entrega de alimentos de manera ágil y respetuosa a los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún

¿Aprueba?	CANTIDAD DE NIÑOS Y NIÑAS	PARTICIPACIÓN (%)
Si	209	87
No	31	13
TOTAL	240	100

Figura 16. Entrega de alimentos de manera ágil y respetuosa a los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún



Fuente: El Investigador

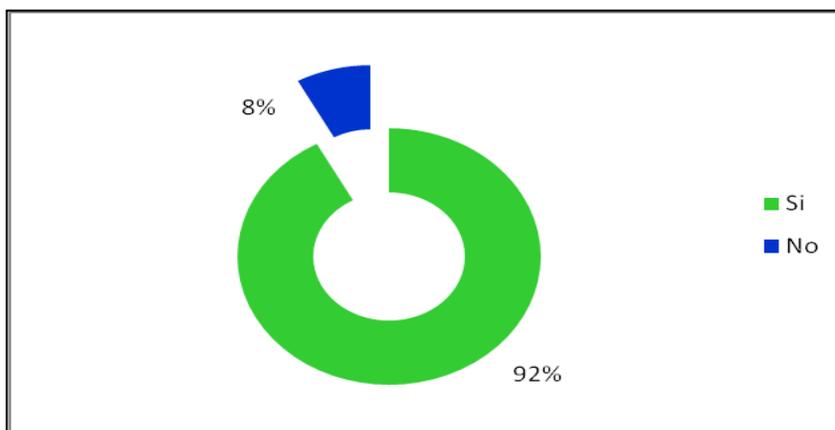
Para el 87% de las madres, las personas encargadas de entregar los alimentos a los niños y niñas, lo hacen de manera ágil y respetuosa, mientras que para el restante 13% no lo hacen de la debida manera.

Al momento de preguntar a los infantes sobre la calidad de los alimentos recibidos, ellos respondieron:

Tabla 19. Recibo de alimentos en buenas condiciones por parte de los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún

OPINIÓN	CANTIDAD DE NIÑOS Y NIÑAS	PARTICIPACIÓN (%)
Si	221	92
No	19	8
TOTAL	240	100

Figura 17. Recibo de alimentos en buenas condiciones por parte de los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún



Fuente: El Investigador

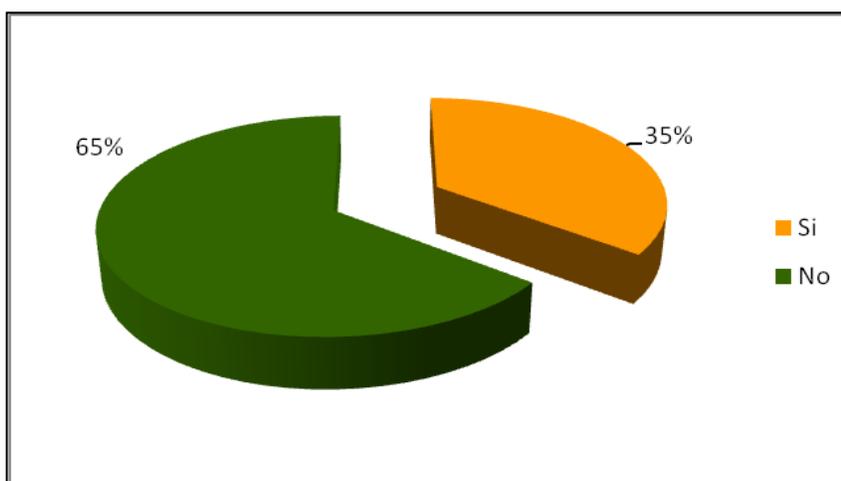
El 92% de los niños y niñas reciben los alimentos en buenas condiciones, mientras que el 8% de ellos consideran que no.

Como el objetivo es entregar alimentos que nutran a los niños, pero que a su vez le brinden satisfacción, los niños y niñas opinaron al respecto que:

Tabla 20. Estado de satisfacción con los alimentos entregados a los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún

¿Queda satisfecho?	CANTIDAD DE NIÑOS Y NIÑAS	PARTICIPACIÓN (%)
Si	85	35
No	155	65
TOTAL	240	100

Figura 18. Estado de satisfacción con los alimentos entregados a los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún



Fuente: El Investigador

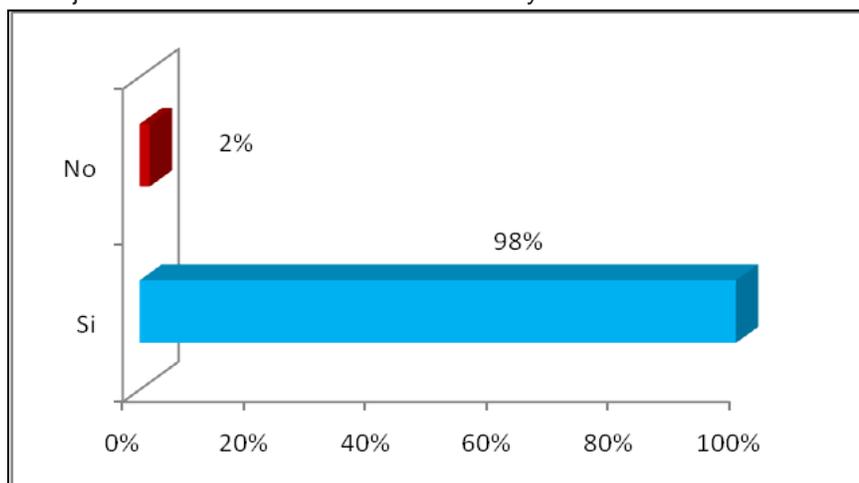
El 65% de los niños y niñas no quedan con hambre una vez reciben los alimentos, pero el 35% de ellos quedan con hambre después de comer.

Sobre la contribución a la nutrición, los padres o acudientes de los niños y niñas que forman parte del PAN, expresaron:

Tabla 21. Mejoramiento de la nutrición de los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún

OPINIÓN	CANTIDAD DE NIÑOS Y NIÑAS	PARTICIPACIÓN (%)
Si	236	98
No	4	2
TOTAL	240	100

Figura 19. Mejoramiento de la nutrición de los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún



Fuente: El Investigador

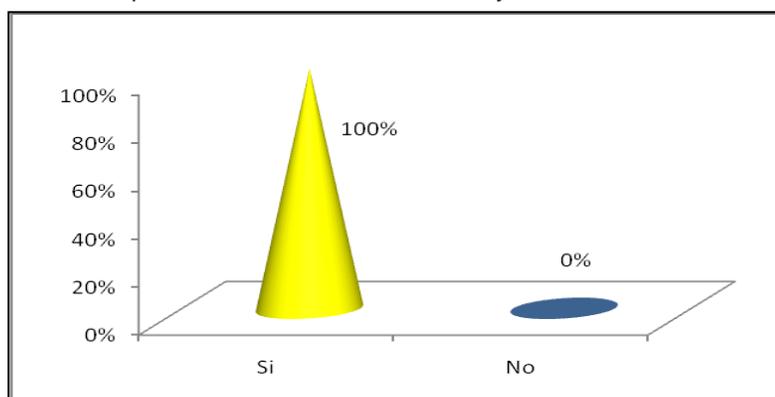
De acuerdo a la opinión cualitativa de los padres, El 98% de los niños y niñas han mejorado su nutrición por cuenta de los alimentos recibidos y para el 2% los alimentos ingeridos del Plan de Nutrición no han contribuido con su nutrición.

Y específicamente, en lo que tiene que ver con el gusto por los alimentos, los niños y niñas respondieron lo siguiente:

Tabla 22. Gusto por los alimentos de los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún

OPINIÓN	CANTIDAD DE NIÑOS Y NIÑAS	PARTICIPACIÓN (%)
Si	240	100
No	0	0
TOTAL	240	100

Figura 20. Gusto por los alimentos de los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún



Fuente: El Investigador

Al 100% de los niños y niñas les gustan los alimentos brindados por el Plan de Nutrición.

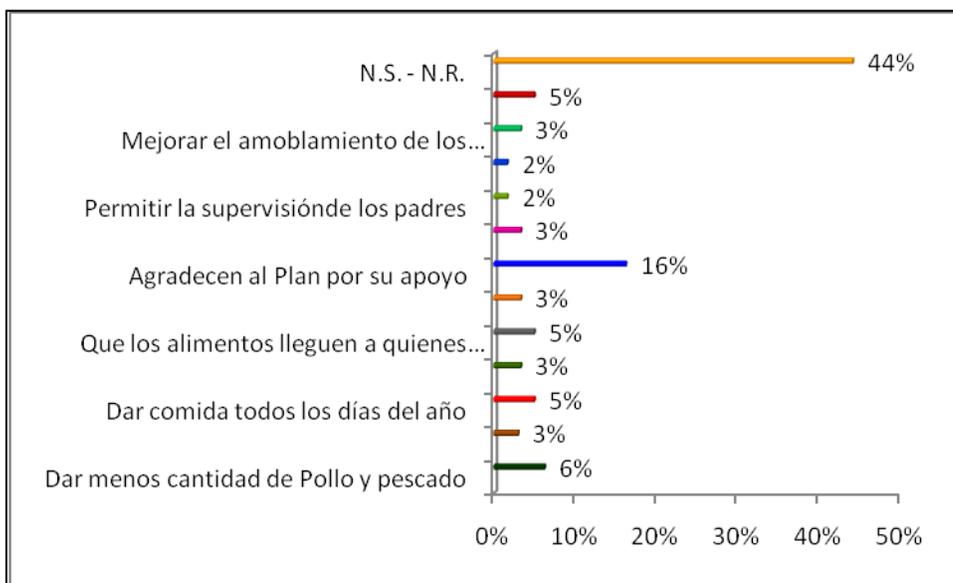
Lo que se busca con el Plan es una disminución en dos puntos de la tasa global de desnutrición en la Comuna Río Otún; para ello se debe seguir implementando acciones de mejoramiento progresivo, entre las cuales el grupo de padres de familia de los niños y niñas, expresaron:

Tabla 23. Sugerencias de los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún

OPINIÓN	CANTIDAD DE MADRES	PARTICIPACIÓN (%)
Dar menos cantidad de Pollo y Torta de Pescado	15	6
Capacitar a las manipuladoras en Manejo de alimentos	4	3
Dar comida a los niños todos los días del año	12	5
Brindar siempre alimentos en excelente estado	8	3
Que los alimentos lleguen a los niños que más lo necesitan	12	5
Continuar siempre con el Plan	8	3
Agradecer al Plan por su apoyo	39	16
Brindar también refrigerio a los niños	8	3
Permitir la supervisión de los alimentos por parte de los padres	4	2
Darle alimentos también a los niños con SISBÉN de La Virginia	4	2
Mejorar el amoblamiento de los		

OPINIÓN	CANTIDAD DE MADRES	PARTICIPACIÓN (%)
restaurantes	8	3
Brindar mayor cantidad de alimentos cuando el almuerzo no lleva sopa	12	5
NS/NR	106	44
TOTAL	240	100

Figura 21. Sugerencias de los niños y niñas del PAN de la Comuna Río Otún



Fuente: El Investigador

Acerca de las sugerencias, el 39% de las madres agradecen el apoyo de la Alcaldía con el Plan, el 15% piensan que deben ofrecer menor cantidad de pollo y pescado, el 12% que el Plan se mantenga todos los días del año, el 12% piden que los alimentos se entreguen a los niños más necesitados, el 12% de las madres piden que se ofrezca mayor cantidad de alimentos el día que no se sirve sopa.

7.2 ELABORACIÓN DE UN MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA PARA EL PLAN ANUAL DE NUTRICIÓN DE LA COMUNA DEL RIO OTÚN EN LA CIUDAD DE PEREIRA EN LA VIGENCIA 2008-2011

En este capítulo se ilustra el desarrollo de un modelo de optimización aplicado al análisis socioeconómico de la efectividad del Plan Anual de Nutrición en los niños y niñas de la Comuna Río Otún de Pereira durante los años 2008 – 2011, con el objetivo de determinar la combinación óptima de los medios utilizados, de tal forma que los costos globales resulten mínimos.

Dicho planteamiento se desarrolla en dos fases, la primera se enfoca en la metodología utilizada para abordar el modelo y dar respuesta a las decisiones planteadas y la segunda, que siguiendo los pasos de la metodología descrita se obtiene el planteamiento matemático del problema utilizando la Programación Entera Mixta.

Para cumplir con el objetivo general de elaborar un modelo matemático de optimización que permita medir la efectividad del Plan Anual de Nutrición en los niños y niñas de la Comuna Río Otún de la ciudad de Pereira durante los años 2008 – 2011; de tal manera que se asignen (aprovechen) de manera óptima los recursos financieros, humanos y tecnológicos garantizando el cumplimiento de los parámetros establecidos por la administración para el desarrollo normal y armonioso de los infantes, se plantearon 2 modelos matemáticos de optimización que se describen de manera resumida a continuación:

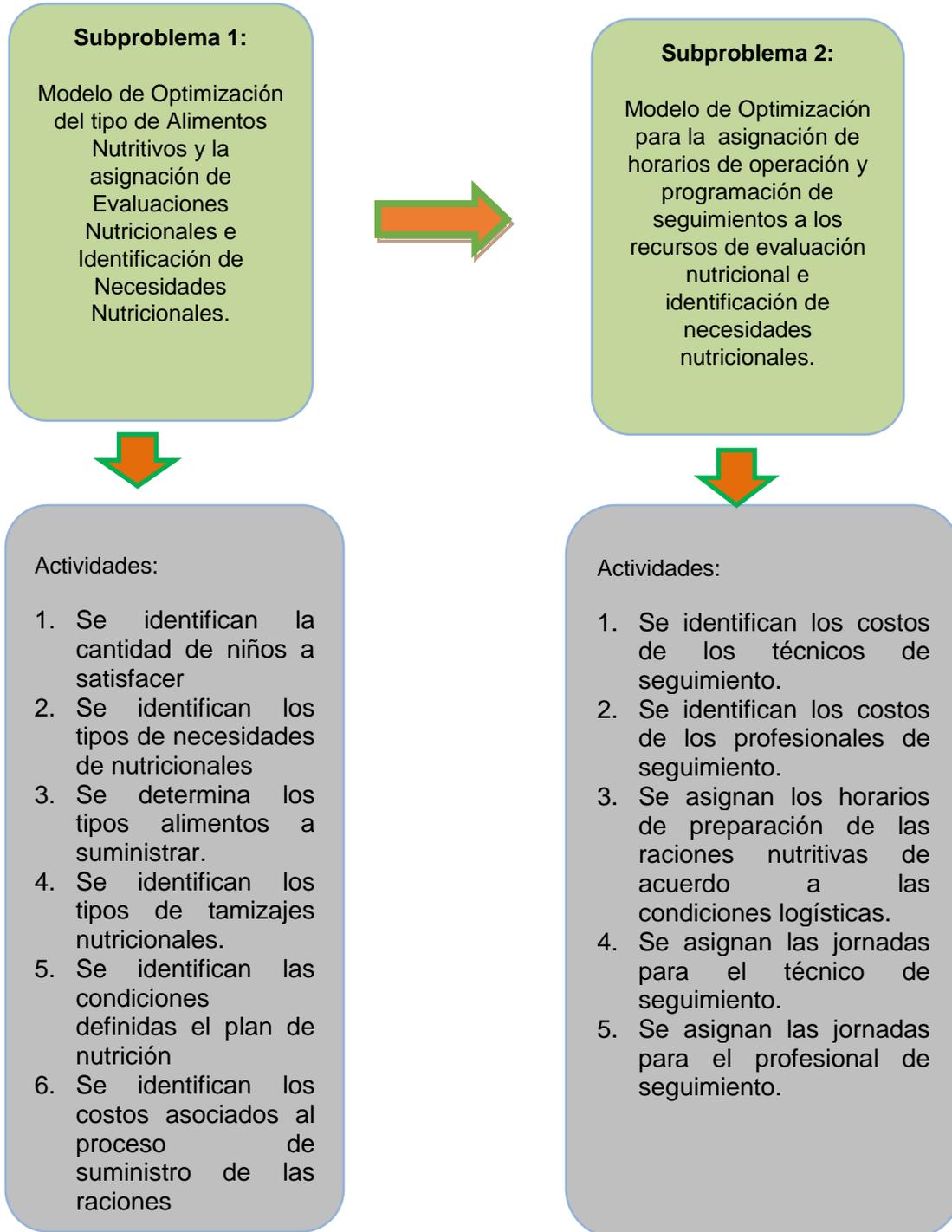
A los niños se les alimenta actualmente con una ración que es igual para todos sin tener en consideración las necesidades nutricionales de cada niño en particular.

En el primer modelo matemático (problema 1) se determina la cantidad de cada tipo alimento a elaborar (denominados Dieta A, Dieta B, Dieta C), el número de equipos y personal necesario para valorar e identificar las necesidades nutricionales de los niños (evaluación “pre”, de cómo llegan los niños).

Actualmente el suministro de las raciones alimentarias se hace sin un horario claro a medida que llegan niños. En el segundo modelo matemático se determina la programación óptima de los horarios de elaboración y suministro de alimentos.

En la siguiente figura se observa como el modelo de optimización global ha quedado compuesto por 2 subproblemas de optimización, donde las salidas del primer subproblema se convierten en los parámetros de entrada del segundo subproblema

Figura 22. Modelo de optimización



Antes de presentar en detalle cada uno de los dos modelos en la siguiente sección se describen los parámetros generales usados, el personal involucrado en su medición y otros pormenores.

7.3 DESCRIPCIÓN DEL PLAN ANUAL DE NUTRICIÓN OBJETO DE ESTUDIO

La Alcaldía de Pereira atiende cada día más de 11.000 niños (as) de escasos recursos económicos, mediante el suministro de un complemento nutricional para contribuir a mejorar sus condiciones de vida. El programa Plan Anual de Nutrición, PAN, de la Secretaria de Desarrollo Social y Político llega a los niños diariamente, disminuyendo así la tasa de desnutrición en el municipio.

Con 199 puntos de atención en toda la ciudad de Pereira, el PAN llega a las comunidades más vulnerables proporcionando un alimento balanceado y nutritivo a niños y niñas. Nutricionistas, Trabajadoras Sociales, Psicólogos, interventores, Operadores y todo un equipo interdisciplinario trabaja diariamente para que los infantes reciban diariamente un almuerzo nutritivo, balanceado y completo.

En la comuna del Río Otún se ha creado una cultura de nutrición con hábitos saludables que contribuyen al desarrollo físico y mental del grupo beneficiado. Mediante los seguimientos de los diferentes profesionales se denota el desarrollo y progreso de los niños(as), que además de ir progresivamente recuperando su talla y peso, aprenden mediante el ejemplo, hábitos de alimentación saludable para su vida.

7.4 PARÁMETROS DE ENTRADA DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN OBJETO DE ESTUDIO

ALIMENTOS NUTRITIVOS			
ITEM	Dieta A:	Dieta B:	Dieta C:
VALORES DE ACUERDO A LAS CONDICIONES DEL PLAN	Indicada por los nutricionistas para los niños con déficit de peso y antecedentes o predisposición a la anemia por déficit. Compuesta principalmente por un 60% de carbohidratos, 35% de proteínas y un 5% de otros componentes	Indicada por los nutricionistas para los niños con exceso de peso y antecedentes de problemas nutricionales con una dieta calórica restrictiva. Compuesta principalmente por un 35% de Carbohidratos, un 60% de proteínas y un 5% de otros componentes	Indicada por los nutricionistas para los niños con déficit de talla y antecedentes de déficit de microelementos esenciales como el hierro, fosforo, potasio y calcio. Compuesta principalmente por un 45% de Carbohidratos, un 45% de proteínas y un 10% de otros componentes
Costo por ración en el nivel educativo (\$/ración)	Primaria \$600/ración	Primaria \$700/ración	Primaria \$650/ración
	Secundaria \$700/ración	Secundaria \$800/ración	Secundaria \$750/ración
Costo de envió por ración enviado al nivel educativo (\$/ración)	Primaria \$30/ración		
	Secundaria \$50/ración		
Costo por ración de alimento no enviado al nivel educativo (\$/ración)	Primaria \$200/ración		
	Secundaria \$200/ración		
Número de niños a atender por día (Niños/día)	Primaria 1200 niños/día		
	Secundaria 600 niños/día		

EVALUACIÓN NUTRICIONAL

ITEM	TAMIZAJE NUTRICIONAL		
VALORES DE ACUERDO A LAS CONDICIONES DEL PLAN	Se toma peso y talla para tabular dentro de tablas antropométricas que indican probables alteraciones del crecimiento y desarrollo pondoestatural, reportándose en formatos preestablecidos de antropometría pediátrica.		
	Anamnesis Nutricional	Examen físico	Examen de laboratorio
	Tiene como objetivo estimar el tipo de alimentación que tienen los pacientes, tanto en cantidad como en calidad, para identificar aspectos positivos a reforzar y también hábitos incorrectos que se deben corregir	Exploración física que el médico estudia su cuerpo para determinar si usted tiene o no un problema físico	Rutinas de laboratorio sirven para detectar la función de los órganos. A este grupo de pruebas se les describe como paneles o perfiles, según el órgano que se seleccione para monitorear
Costo por tamizaje nutricional en el nivel educativo (\$/tamizaje)	Primaria \$2000/tamizaje	Primaria \$3000/tamizaje	Primaria \$5000/tamizaje
	Secundaria \$3000/tamizaje	Secundaria \$4000/tamizaje	Secundaria \$5000/tamizaje
Costo por tamizaje nutricional ineficiente en el nivel educativo (\$/tamizaje)	Primaria \$1000/tamizaje	Primaria \$1500/tamizaje	Primaria \$2500/tamizaje
	Secundaria \$1500/tamizaje	Secundaria \$2000/tamizaje	Secundaria \$2500/tamizaje
Número de tamizajes mínimos en cada nivel educativo (unidades/día)	Primaria		
	10 tamizajes/día		
	Secundaria		
	10 tamizajes/día		

Número de tamizajes máximos por nivel educativo en el día (unidades/día)	Primaria 40 tamizajes/día
	Secundaria 40 tamizajes/día
Número máximo de tamizajes ineficientes por nivel educativo (unidades/día)	Primaria 5 tamizajes/día
	Secundaria 5 tamizajes/día
Costo por persona asignada para tamizaje nutricional al día (\$/persona)	Primaria \$25000/persona-día
	Secundaria \$25000 persona-día
Número de personas disponibles para la realización de tamizajes nutricionales al día (personas)	Primaria 10 personas/día
	Secundaria 10 personas/día
Capacidad persona para tamizaje nutricional al día (unidades/día)	Primaria 3 tamizajes/persona-día
	Secundaria 3 tamizajes/persona-día

IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES NUTRICIONALES

ITEM	A partir de los resultados encontrados en el tamizaje nutricional se realiza un diagnóstico de la necesidad nutricional requerida referida hacia el déficit o exceso de peso y al déficit de la talla		
VALORES DE ACUERDO A LAS CONDICIONES DEL PLAN	Déficit de peso	Exceso de peso	Déficit de talla
	Se refiere a un humano cuyo peso se considera se encuentra por debajo de un valor saludable. En general la definición se refiere al índice de masa corporal (IMC)	Se refiere a un humano cuyo peso se considera se encuentra por encima de un valor saludable en relación con la estatura de la persona. Para identificarlo se recurre al índice de masa corporal (IMC).	Se refiere a un humano cuya talla expresada en centímetros se encuentre por debajo del percentil 10 de las tablas antropométricas
Costo por identificación nutricional en el nivel educativo (\$/identificación)	Primaria \$2000/identificación	Primaria \$2000/identificación	Primaria \$2000/identificación
	Secundaria \$3000/identificación	Secundaria \$3000/identificación	Secundaria \$3000/identificación
Costo por identificación nutricional ineficiente en el nivel educativo (\$/identificación)	Primaria \$1000/identificación	Primaria \$1000/identificación	Primaria \$1000/identificación
	Secundaria \$1500/identificación	Secundaria \$1500/identificación	Secundaria \$1500/identificación
Número de identificaciones mínimas en cada nivel educativo (unidades/día)	Primaria 10 identificaciones/día		
	Secundaria 10 identificaciones/día		

Número de identificaciones máximas por nivel educativo en el día (unidades/día)	Primaria 40 identificaciones/día
	Secundaria 40 identificaciones/día
Número máximo de identificaciones ineficientes por nivel educativo (unidades/día)	Primaria 6 identificaciones/día
	Secundaria 6 identificaciones/día
Costo por persona asignada para identificación nutricional al día (\$/persona)	Primaria \$25000/persona-día
	Secundaria \$25000/persona-día
Número de personas disponibles para la realización de identificaciones nutricionales al día (personas)	Primaria 10 personas/día
	Secundaria 10 personas/día
Capacidad persona para identificación nutricional al día (unidades/día)	Primaria 3 identificaciones/persona-día
	Secundaria 3 identificaciones/persona-día

PARÁMETRO	SIGNIFICADO	VALORES DE ACUEDO A LAS CONDICIONES DEL PLAN	
MIR _z	Número de raciones necesarias por turno de elaboración al día	Primaria 1200 raciones por día	Secundaria 600 niños por día
ZS _{yz}	Número de raciones alimenticias tipo y requeridas en el nivel educativo z al día	Primaria Dieta A: 880 Dieta B: 120 Dieta C: 200 Raciones al día	Secundaria Dieta A: 440 Dieta B: 60 Dieta C: 100 Raciones al día
ZX _{wz}	Número de tamizajes nutricionales tipo w asignados al nivel z al día	Primaria Anamnesis: 30 E. Físico: 5 E. Laboratorio: 5 Tamizajes al día	Secundaria Anamnesis: 30 E. Físico: 5 E. Laboratorio: 5 Tamizajes al día
A _{xz}	Número de identificaciones de necesidades nutricionales tipo x asignadas al nivel z al día	Primaria Déficit Peso: 16 Exceso Peso: 12 Déficit Talla: 12 Identificaciones al día	Secundaria Déficit Peso: 16 Exceso Peso: 12 Déficit Talla: 12 Identificaciones al día
CTS	Costo técnico de seguimiento por día	\$30.000/día	
CMP	Costo profesional de seguimiento por día	\$50.000/día	
RP	Relación cantidad de evaluaciones totales por técnico	4 evaluaciones/técnico	
SD	Relación cantidad de niños por profesional	100 niños/profesional	

7.5 SUBPROBLEMA 1: MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE ALIMENTO NUTRITIVO Y LA ASIGNACIÓN DE RECURSOS DE IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES NUTRICIONALES Y TAMIZAJES NUTRICIONALES.

Se determina la cantidad de raciones para elaborar de cada tipo de dieta alimenticia Dieta 1 (60% carbohidratos, 35% proteínas, 5% vitaminas-minerales), Dieta 2 (35% carbohidratos, 60% proteínas, 5% vitaminas-minerales) y Dieta 3 (45% carbohidratos, 45% proteínas, 10% vitaminas-minerales), los equipos (para la Identificación de necesidades nutricionales y Tamizajes nutricionales) y el personal (asignado para la Identificación de necesidades nutricionales y Tamizajes nutricionales) necesarios para la eficiente ejecución del Plan Anual de Nutrición en los Centros Educativos de la Comuna Río Otún de la ciudad de Pereira.

7.5.1 Función objetivo:

La Función objetivo del Problema 1 plantea la minimización de los siguientes costos mensuales:

Costo de elaboración de alimento nutritivo

Costo de envío de alimentos nutritivos

Costo de alimentos nutritivos no enviados

Costo por tamizajes nutricionales asignados

Costo por tamizajes nutricionales ineficientes

Costo por identificaciones de necesidades nutricionales asignadas

Costo por identificaciones de necesidades nutricionales ineficientes

Costo por personas asignadas a los tamizajes nutricionales

Costo por personas asignadas a las identificaciones de necesidades nutricionales

Costo por servido de las raciones alimenticias de cada tipo por nivel educativo

7.5.2 Restricciones

1. Niños disponibles de cada nivel

2. Cantidad de raciones de cada tipo requerida

- ✓ Cantidad raciones tipo A requerida
- ✓ Cantidad raciones tipo B requerida
- ✓ Cantidad raciones tipo C requerida

3. Cantidad mínima y máxima de tamizajes nutricionales

- ✓ Tamizajes nutricionales mínimos requeridos
- ✓ Tamizajes nutricionales máximos requeridos
- ✓ Cantidad de tamizajes tipo anamnesis nutricional requeridos
- ✓ Cantidad de tamizajes tipo examen físico requerido
- ✓ Cantidad de tamizajes tipo examen de laboratorio requerido
- ✓ Cantidad máxima de tamizajes nutricionales ineficientes permitidos

4. Cantidad mínima y máxima de identificaciones de necesidades nutricionales

- ✓ Identificaciones de necesidades nutricionales mínimas requeridos
- ✓ Identificaciones de necesidades nutricionales máximos requeridos
- ✓ Cantidad de Identificación tipo Déficit de peso requeridos
- ✓ Cantidad de Identificación tipo Exceso de peso requerido
- ✓ Cantidad de Identificación tipo Déficit de talla requerido
- ✓ Cantidad máxima de Identificaciones de necesidades nutricionales ineficientes permitidos

5. Disponibilidad de personal

- ✓ Personal disponible para tamizajes nutricionales
- ✓ Personal disponible para identificación de necesidades nutricionales

6. Capacidad de los equipos

- ✓ Capacidad de equipos para la realización de tamizajes nutricionales
- ✓ Capacidad de equipos para la realización de identificaciones de necesidades nutricionales

7. Capacidad máxima de servido de raciones alimenticias

7.5.3 Valores posibles de las variables

1. No negatividad.
2. Variables Enteras.

a. Subíndices

SUBÍNDICE	VARIACIÓN
Nivel Educativo z	z: Primaria, secundaria
Tipo de Ración y	y: Dieta A, Dieta B, Dieta C
Tipo de Identificación de Necesidad Nutricional x	x: Déficit peso, Exceso peso, Déficit talla <u>Nota:</u> Existen diferentes necesidades nutricionales según si el niño (a) presenta bajo o exceso de peso o déficit de talla.
Tipo de Tamizaje Nutricional w	w: Anamnesis nutricional, examen físico y examen laboratorio <u>Nota:</u> <ol style="list-style-type: none">1. Anamnesis nutricional: Forma parte de la historia nutricional y constituye el primer paso de la evaluación nutricional.2. Examen físico: Se realiza en enfermería tiene como principal fin el reunir datos inherentes a la salud del niño(a).3. Examen laboratorio: Proceso de atención a la salud que se apoya en el estudio de distintas muestras biológicas mediante su análisis en laboratorio.

b. Parámetros

PARÁMETRO	SIGNIFICADO	UNIDADES
ZQ_{xz}	Costo por identificación de necesidad nutricional tipo x en el nivel z	\$/identificación
ZN_{xz}	Costo por identificación de necesidad nutricional tipo x ineficiente en el nivel z	\$/identificación
P_z	Número máximo de identificaciones ineficientes por nivel z al día	Identificaciones /día
S_{wz}	Costo por tamizaje nutricional tipo w en el nivel z	\$/tamizaje
R_{wz}	Costo por tamizaje nutricional tipo w ineficiente en el nivel z	\$/tamizaje
J_z	Número de tamizajes mínimos en cada nivel al día	Tamizajes /día
CAT_z	Número de tamizajes máximos por nivel z en el día	Tamizajes /día
ZP_{yz}	Costo por ración tipo y en el nivel z	\$/ración
ZM_{yz}	Costo de envío por ración tipo y enviado al nivel z	\$/ración
M_z	Número máximo de tamizajes ineficientes por nivel z al día	Tamizajes/día
K_z	Número de niños disponibles para el programa por nivel z al día	Niños/día
CS	Costo por ración de alimento no enviado al centro educativo	\$/ración

PARÁMETRO	SIGNIFICADO	UNIDADES
CT	Costo por persona asignada para tamizaje nutricional al día	\$/persona-día
CI	Costo por persona asignada para identificación de necesidad nutricional al día	\$/persona-día
T	Número de personas disponibles para la realización de tamizajes nutricionales al día	personas/día
V	Número de personas disponibles para la identificación de necesidades nutricionales al día	personas/día
CPT	Capacidad persona para tamizaje nutricional al día	Tamizajes/persona-día
CPI	Capacidad persona para identificación necesidad nutricional al día	Identificación/persona-día
CUT _z	Número de identificaciones máximos por nivel z en el día	Identificaciones/día
B _z	Numero de identificaciones nutricionales mínimas en cada nivel z al día	Identificaciones/día
YS	Costo de servido por ración al día	\$/ración-día
ZO	Número de turnos para personas de servido al día	Número de turnos/persona-día
ZK _z	Capacidad persona servido raciones por nivel educativo por turno al día	Raciones/turno-día
ZY(Z)	Número máximo de personas para servido por turno al día	Personas/turno-día

c. Variables de Decisión

VARIABLES	SIGNIFICADO
A_{xz}	Número de identificaciones de necesidades nutricionales tipo x asignadas al nivel z al día
ZZ_{xz}	Número de identificaciones de necesidades nutricionales tipo x ineficientes al día
ZU_z	Número de personas asignadas a la identificación de necesidades nutricionales del nivel z al día
ZX_{wz}	Número de tamizajes nutricionales tipo w asignados al nivel z al día
ZW_{wz}	Número de tamizajes nutricionales tipo w ineficientes al día
ZT_z	Número de personas asignadas a los tamizajes nutricionales del nivel z al día
ZD	Número de raciones de alimentos nutritivos no enviados a los centros educativos al día
ZS_{yz}	Número de raciones de cada tipo y por nivel z al día
YX_z	Número de servidores asignados al nivel educativo z

7.5.4 Modelo matemático de la Función Objetivo

Minimizar Costos

Z = Costo de raciones de alimento nutritivo + Costo de envío de alimentos nutritivos + Costo de alimentos nutritivos no enviados + Costo por tamizajes nutricionales asignados + Costo por tamizajes nutricionales ineficientes + Costo por identificaciones de necesidades nutricionales asignadas + Costo por identificaciones de necesidades nutricionales ineficientes + Costo por personas asignadas a los tamizajes nutricionales + Costo por personas asignadas a las identificaciones de necesidades nutricionales + Costo de servido de raciones alimenticias de cada tipo

$$MIN Z = \sum_{z=1}^2 \sum_{y=1}^3 (ZP_{yz})(ZS_{yz}) + \sum_{z=1}^2 \sum_{y=1}^3 (ZM_{yz})(ZS_{yz})$$



COSTO DE ELABORACIÓN DE RACIONES NUTRITIVAS PARA CADA NIVEL EDUCATIVO POR DÍA



COSTO POR ENVIO DE RACIONES A CADA NIVEL EDUCATIVO POR DÍA

$$... + (CS)(ZD) + \sum_{z=1}^2 \sum_{w=1}^3 (S_{wz})(ZX_{wz})$$



COSTO POR RACIONES NUTRITIVAS NO ENVIADAS A LOS CENTROS EDUCATIVO POR DÍA



COSTO POR TAMIZAJES NUTRICIONALES ASIGNADOS PARA CADA NIVEL EDUCATIVO POR DÍA

$$\dots + \sum_{z=1}^2 \sum_{w=1}^3 (R_{wz})(ZW_{wz}) + \sum_{z=1}^2 \sum_{x=1}^3 (ZQ_{xz})(A_{xz})$$



COSTO POR TAMIZAJE
NUTRICIONAL INEFICIENTE
PARA CADA NIVEL
EDUCATIVO POR DÍA



COSTO POR IDENTIFICACIÓN
DE NECESIDADES
NUTRICIONALES PARA CADA
NIVEL EDUCATIVO POR DÍA

$$\dots + \sum_{z=1}^2 \sum_{x=1}^3 (ZN_{xz})(ZZ_{xz}) + (CT) \sum_{z=1}^2 (ZT_z)$$



COSTO POR IDENTIFICACIÓN
DE NECESIDADES
NUTRICIONALES
INEFICIENTES PARA CADA
NIVEL EDUCATIVO POR DÍA



COSTO POR PERSONAS
ASIGNADAS A LOS
TAMIZAJES
NUTRICIONALES PARA
CADA NIVEL EDUCATIVO
POR DÍA

$$\dots + (CI) \sum_{z=1}^2 (ZU_z) + YS \sum_{z=1}^2 \sum_{y=1}^3 ZS_{yz}$$



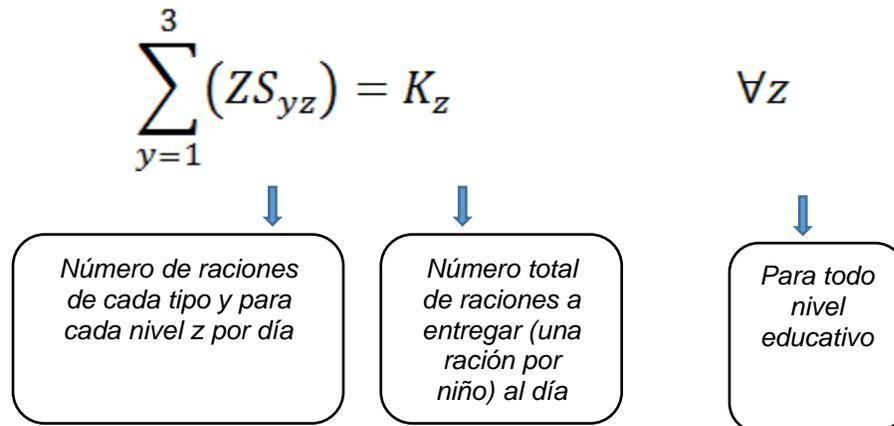
COSTO POR PERSONAS
ASIGNADAS A LA
IDENTIFICACIÓN DE
NECESIDADES
NUTRICIONALES PARA
CADA NIVEL EDUCATIVO
POR DÍA



COSTO POR SERVIDO DE
CADA TIPO DE RACIÓN
PARA CADA NIVEL
EDUCATIVO

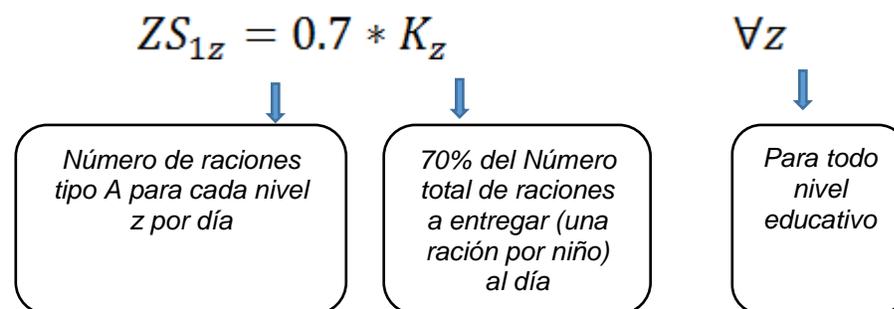
7.5.5 Modelo matemático de las Restricciones

1. **Niños disponibles de cada nivel:** la cantidad de raciones de todos los tipos deben ser igual a la cantidad de niños disponibles

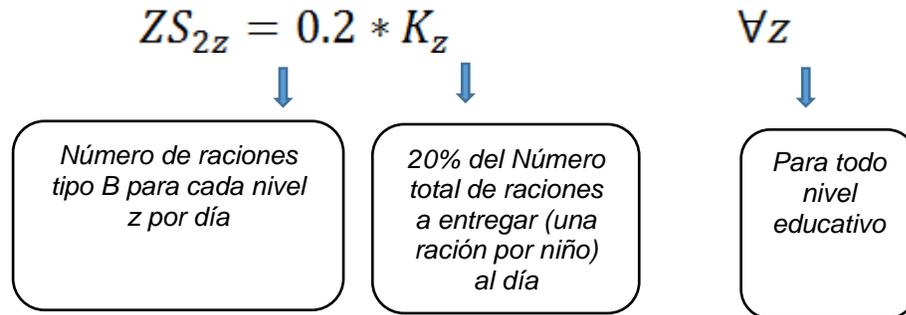


2. Cantidad de raciones de cada tipo requerida:

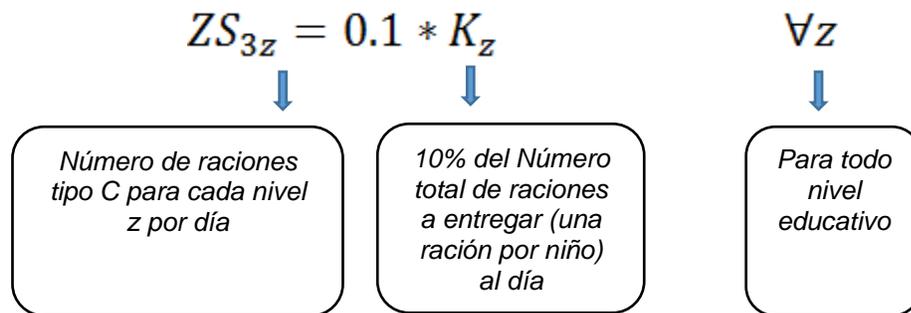
- ✓ Cantidad raciones tipo A requerida: el 70% de los niños examinados presentan problemas nutricionales. Por tal razón el modelo debe asegurar que el 70% de las raciones se elaboren para la dieta tipo A



- ✓ Cantidad raciones tipo B requerida: el 20% de los niños examinados presentan exceso de peso. Por tal razón el modelo debe asegurar que el 20% de las raciones se elaboren para la dieta tipo B

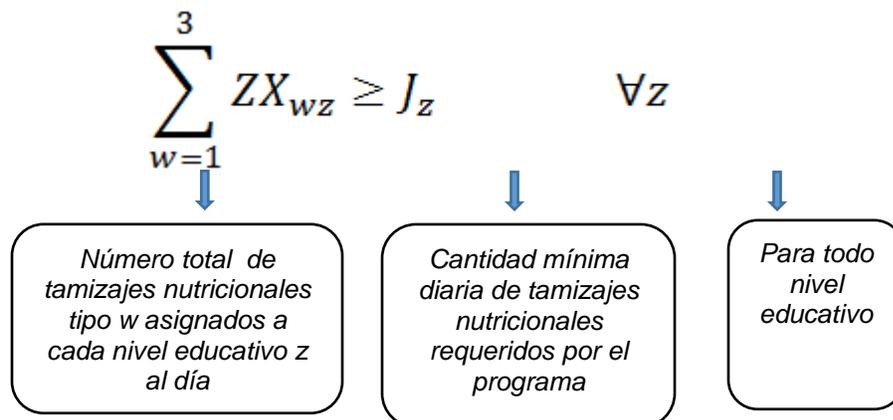


- ✓ Cantidad raciones tipo C requerida el 10% de los niños examinados presentan baja talla. Por tal razón el modelo debe asegurar que el 10% de las raciones se elaboren para la dieta tipo C

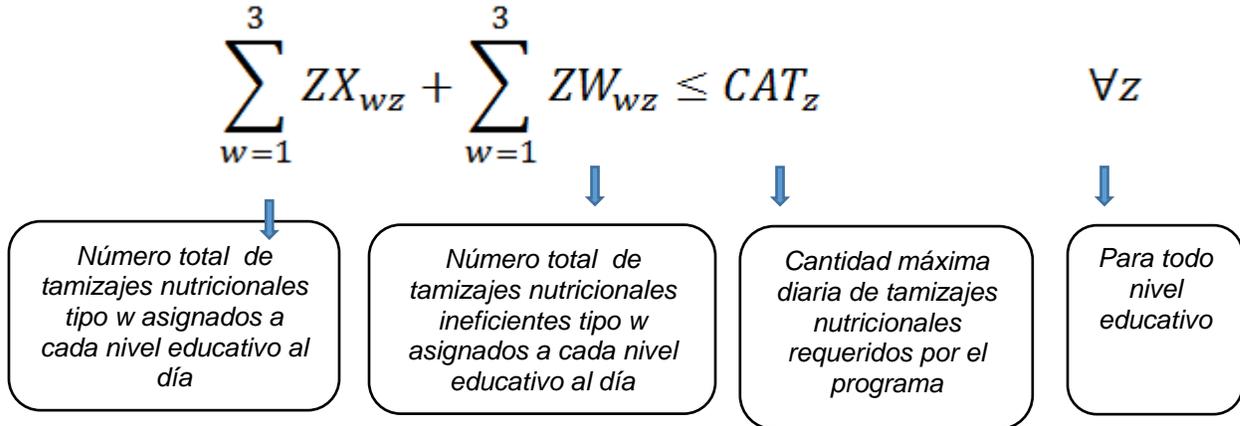


3. Cantidad mínima y máxima de tamizajes nutricionales

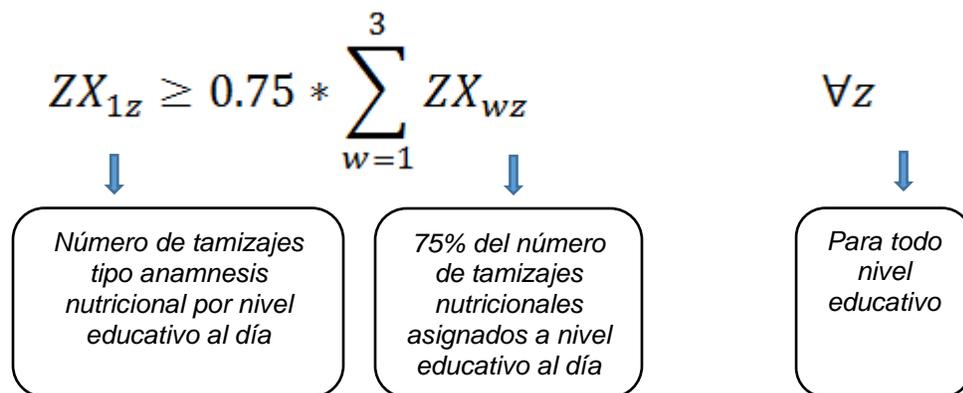
- ✓ Tamizajes nutricionales mínimos requeridos: el programa estableció en el contrato un número mínimo de tamizajes nutricionales por tipo y nivel educativo



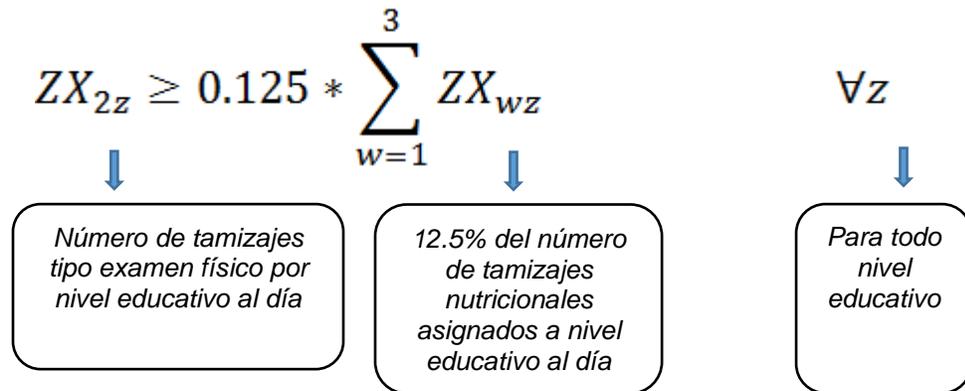
- ✓ Tamizajes nutricionales máximos requeridos: el programa estableció en el contrato un número máximo de tamizajes nutricionales por tipo y nivel educativo



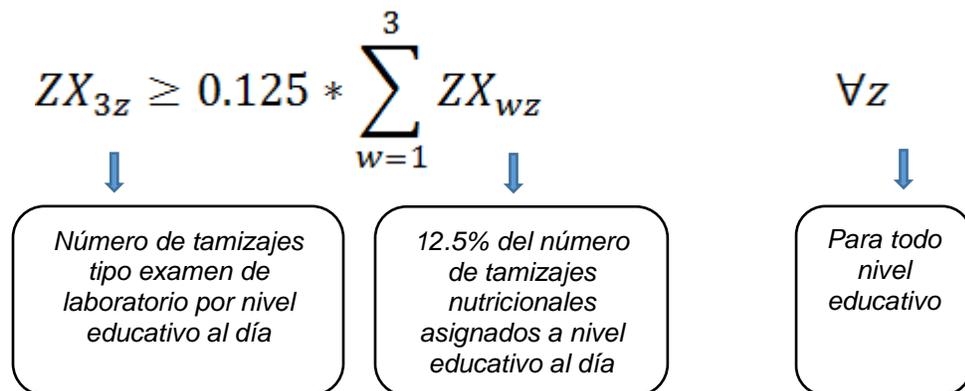
- ✓ Cantidad de tamizajes tipo anamnesis nutricional requeridos: este tipo de examen es el primer acercamiento con la salud física y nutricional de los niños. Por lo tanto se requiere que una gran parte de los exámenes sea de anamnesis nutricional para aumentar la probabilidad de detectar los casos de deficiencia nutricional y poder asignar los exámenes de laboratorio y físicos. Así que se decide asignar al menos 75% de los tamizajes al tipo de examen: anamnesis nutricional.



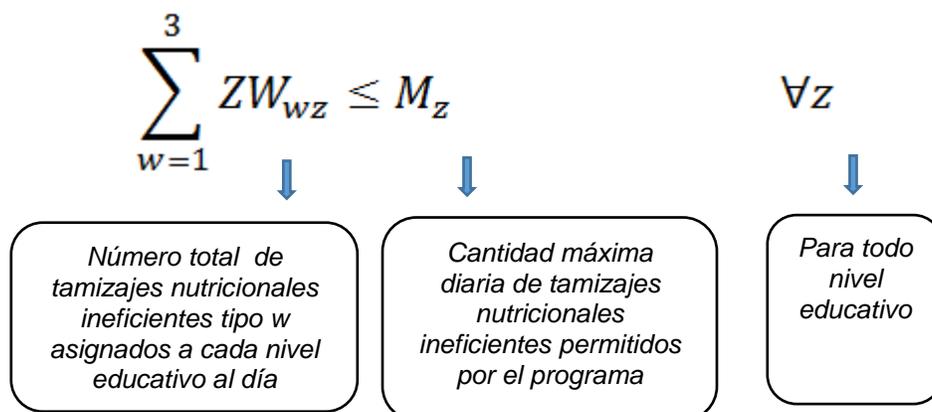
- ✓ Cantidad de tamizajes tipo examen físico requerido: el 25% de los tamizajes restantes deben ser asignados de manera proporcional (se le esta asignando el mismo peso) a los dos tipos de tamizajes restantes



- ✓ Cantidad de tamizajes tipo examen de laboratorio requerido: el 25% de los tamizajes restantes deben ser asignados de manera proporcional a los dos tipos de tamizajes restantes

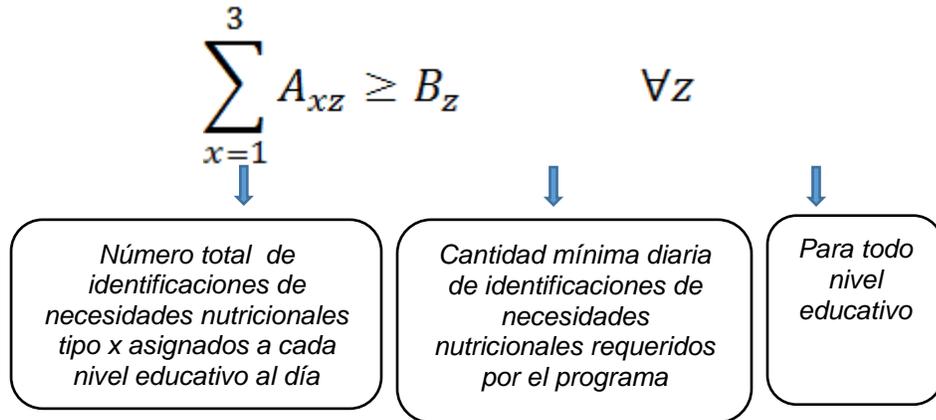


- ✓ Cantidad máxima de tamizajes nutricionales ineficientes permitidos: el programa permite una cantidad máxima de tamizajes que no cumplen con los requerimientos de calidad. Este tipo de examen se denomina ineficiente

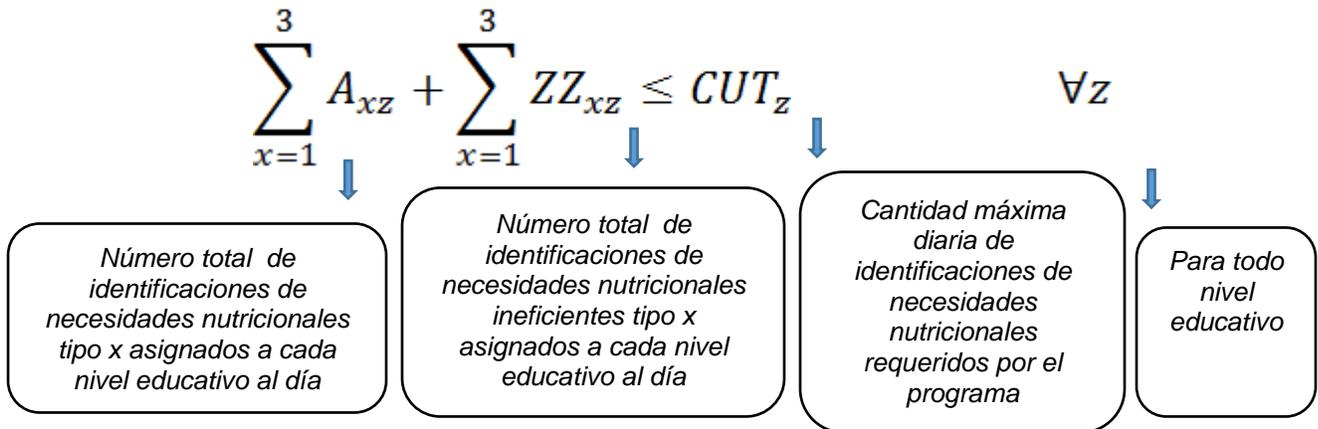


4. Cantidad mínima y máxima de identificaciones de necesidades nutricionales

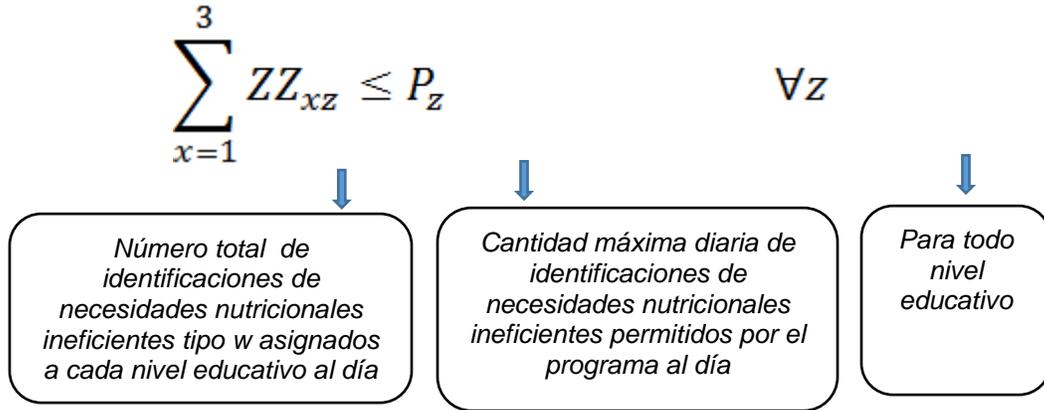
- ✓ Identificaciones de necesidades nutricionales mínimas requeridos: el programa estableció en el contrato un número mínimo de identificaciones de necesidades nutricionales por tipo y nivel educativo



- ✓ Identificaciones de necesidades nutricionales máximos requeridos: el programa estableció en el contrato un número máximo de identificaciones de necesidades nutricionales por tipo y nivel educativo

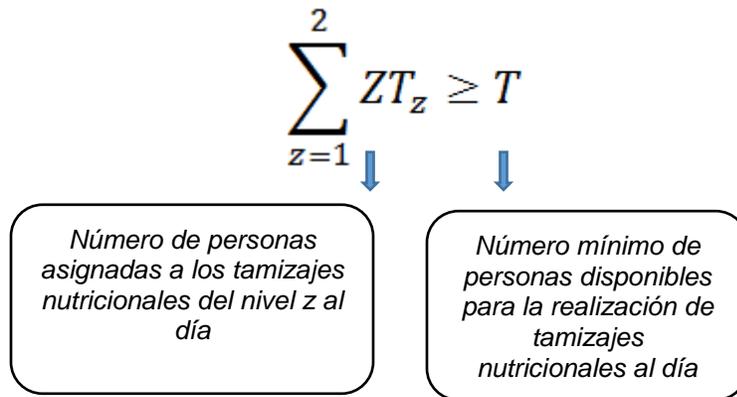


- ✓ Cantidad máxima de Identificaciones de necesidades nutricionales ineficientes permitidos: el programa permite una cantidad máxima de identificaciones de necesidades nutricionales que no cumplen con los requerimientos de calidad. Este tipo de examen se denomina ineficiente

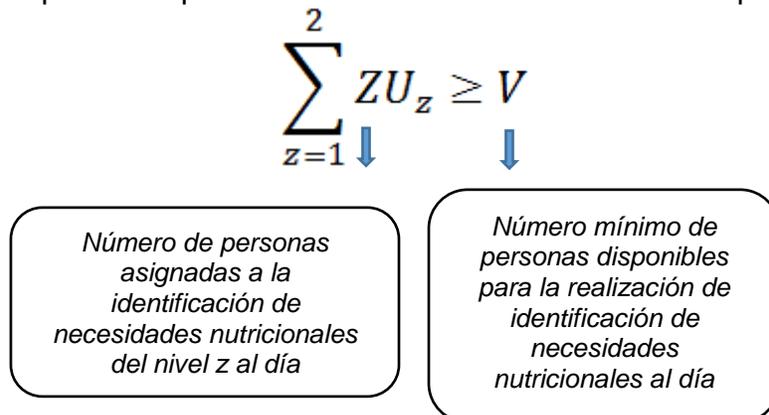


5. Disponibilidad de personal

- ✓ Personal disponible para tamizajes nutricionales: para cumplir con los lineamientos del plan, el operador debe asegurar un número mínimo de personas para la realización de los exámenes requeridos



- ✓ Personal disponible para identificación de necesidades nutricionales: para cumplir con los lineamientos del plan, el operador debe asegurar un número mínimo de personas para la realización de los exámenes requeridos



6. Capacidad de los equipos

- ✓ Capacidad de equipos para la realización de tamizajes nutricionales: se debe garantizar una cantidad máxima de tamizajes nutricionales de acuerdo con la capacidad del personal para realizarlo.

$$CPT * \sum_{z=1}^2 ZT_z \leq \sum_{z=1}^2 \sum_{w=1}^3 ZX_{wz}$$

Capacidad de las personas asignadas a la realización de tipo de tamizajes nutricionales en el nivel educativo z en el día

Capacidad de realización de los tamizajes nutricionales asignados en el nivel educativo z en el día

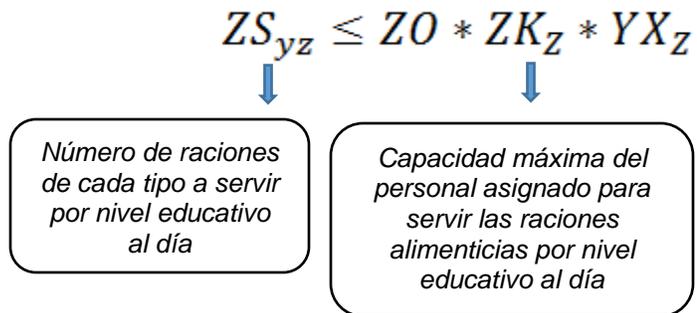
- ✓ Capacidad de equipos para la realización de identificaciones de necesidades nutricionales: se debe garantizar una cantidad máxima de identificación de necesidades nutricionales de acuerdo con la capacidad del personal para realizarlo.

$$CPI * \sum_{z=1}^2 ZU_z \leq \sum_{z=1}^2 \sum_{x=1}^3 A_{xz}$$

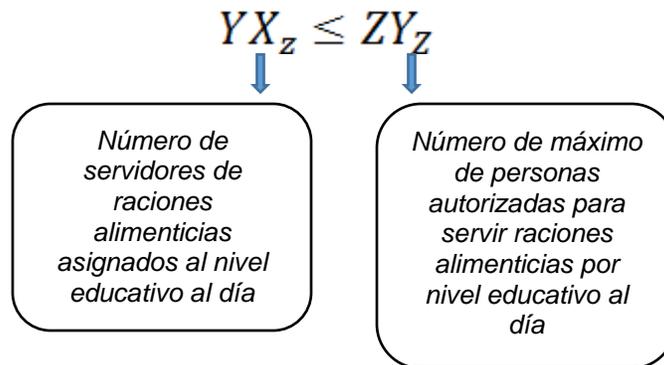
Capacidad de las personas asignadas a la realización de tipo de identificación de necesidades nutricionales en el nivel educativo z en el día

Capacidad de realización de las identificaciones de necesidades nutricionales asignadas en el nivel educativo z en el día

7. **Capacidad máxima de servido de raciones alimenticias:** El número máximo de raciones tipo y nivel educativo a servir no puede ser superior a la capacidad máxima de servido por el personal asignado por nivel educativo para esta tarea



8. **Disponibilidad diaria de personal para servir raciones alimenticias:** el número máximo de personas contratadas para servir las raciones alimenticias debe ser como máximo el número de personas autorizadas por el plan para este fin



No Negatividad

Todas las variables se restringen a valores mayores iguales a cero.

VARIABLES	SIGNIFICADO
$A_{xz} \geq 0$	Número de identificaciones de necesidades nutricionales tipo x asignadas al nivel z al día
$ZZ_{xz} \geq 0$	Número de identificaciones de necesidades nutricionales tipo x ineficientes al día
$ZU_z \geq 0$	Número de personas asignadas a la identificación de necesidades nutricionales del nivel z al día
$ZX_{wz} \geq 0$	Número de tamizajes nutricionales tipo w asignados al nivel z al día
$ZW_{wz} \geq 0$	Número de tamizajes nutricionales tipo w ineficientes al día
$ZT_z \geq 0$	Número de personas asignadas a los tamizajes nutricionales del nivel z al día
$ZD \geq 0$	Número de raciones de alimentos nutritivos no enviados a los centros educativos al día
$ZS_{yz} \geq 0$	Número de raciones de cada tipo y por nivel z al día

Variables Enteras

Las variables que se listan en el siguiente cuadro se restringen a valores enteros.

VARIABLES	SIGNIFICADO
A_{xz}	Número de identificaciones de necesidades nutricionales tipo x asignadas al nivel z en el mes
ZZ_x	Número de identificaciones de necesidades nutricionales tipo x ineficientes en el mes
ZU_z	Número de personas asignadas a la identificación de necesidades nutricionales del nivel z en el mes
ZX_{wz}	Número de tamizajes nutricionales tipo w asignados al nivel z en el mes
ZW_w	Número de tamizajes nutricionales tipo w ineficientes en el mes
ZT_z	Número de personas asignadas a los tamizajes nutricionales del nivel z en el mes
ZS_{yz}	Número de raciones por nivel z asignados al tipo de alimento y al mes

7.5.6 Solución del modelo con la herramienta GAMS³

El programa GAMS (General Algebraic Modeling System) es un software desarrollado por A. Brooke, D. Kendrick y A. Meeraus. A diferencia de otros paquetes de software de implementación de algoritmos matemáticos que permiten resolver los problemas de optimización, el programa GAMS presenta la ventaja de plantear un lenguaje de modelización que permite el poder escribir en un editor la formulación matemática del problema y posteriormente aplicarle una serie de “solvers” o programas de resolución.

³ MORALES CHÁVEZ, Marcela. Modelo de optimización para la operación de corte, alce, arrastre, transporte y entrega de caña de azúcar. UTP, 2011

Este programa fue desarrollado a finales de la década de los años 80 en el World Bank por un grupo de economistas, aprovechando la experiencia de su trabajo sobre programas de desarrollo económico, que requieren en un primer lugar una modelización exhaustiva y posteriormente la aplicación de los correspondientes programas de optimización para poder hallar la solución numérica a los modelos propuestos.⁴

Para este proyecto se utilizó el Demo GAMS 23.9.1, versión limitada por el número de variables o el número de elementos distinto de cero en el modelo, así:

7.5.7 Resultados del Modelo de Optimización para el caso de estudio

- Número de raciones de cada tipo y por nivel z al día

	PRIMARIA	SECUNDARIA
DIETA_A	840	420
DIETA_B	240	120
DIETA_C	120	60

- Número de personas asignadas a los tamizajes nutricionales del nivel z al día

PRIMARIA	SECUNDARIA
4,	4

- Número de tamizajes nutricionales tipo w asignados al nivel z al día

	PRIMARIA	SECUNDARIA
ANAMNESIS_NUTRICIONAL	30.	30.
EXAMEN_FISICO	5.	5.
EXAMEN_LABORATORIO	5.	5.

⁴ SALA, G., Ramón. Manual GAMS

- Número de personas asignadas a las identificaciones de necesidades nutricionales del nivel z al día

PRIMARIA 4., SECUNDARIA 4.

- Número de tamizajes nutricionales tipo w asignados al nivel z al día

	PRIMARIA	SECUNDARIA
ANAMNESIS_NUTRICIONAL	16.	16.
EXAMEN_FISICO	12.	12.
EXAMEN_LABORATORIO	12.	12.

- Número de tamizajes e identificación de necesidades nutricionales ineficientes tipo w en el nivel z al día

(ALL 0.000)

- Función objetivo

MIP Solution: 2104000. (3 iterations, 0 nodes)

MIN Z = \$2.104.000 /día

7.6 SUBPROBLEMA 2: MODELO DE OPTIMIZACIÓN PARA LA ASIGNACIÓN DE HORARIOS PARA LA REALIZACIÓN DE SEGUIMIENTOS AL PLAN ANUAL DE NUTRICIÓN Y LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS, LAS IDENTIFICACIONES DE NECESIDADES NUTRICIONALES Y LOS TAMIZAJES NUTRICIONALES A LOS NIÑOS Y NIÑAS.

El segundo Problema distribuye la elaboración de los alimentos nutritivos en cada uno de los turnos de trabajo, además realiza la programación de los recursos asignados en el Problema 1; como son equipos (para la Identificación de necesidades nutricionales y Tamizajes nutricionales) y personal (asignado para la Identificación de necesidades nutricionales y Tamizajes nutricionales), teniendo en cuenta los horarios de seguimiento al Plan, la asignación del personal para realizarlo (profesional de seguimiento y técnico de seguimiento) y el requerimiento continuo de alimentos en los Centros educativos.

7.6.1 Función objetivo:

La Función objetivo del Problema 1 plantea la minimización de los siguientes costos diarios:

Costo por personal profesional de seguimiento asignado por nivel

Costo por personal técnico de seguimiento asignado por nivel

7.6.2 Restricciones

- 1. Número total de raciones diarias distribuidas por nivel educativo y por turno de elaboración**
- 2. Cantidad mínima de raciones alimenticias por turno de trabajo y nivel educativo**
 - ✓ Cantidad mínima de raciones para el turno 1 (6-8 am)
 - ✓ Cantidad mínima de raciones para el turno 2 (8-10 am)
 - ✓ Cantidad mínima de raciones para el turno 3 (10-12 m)
 - ✓ Cantidad mínima de raciones para el turno 4 (12-2 pm)
 - ✓ Cantidad mínima de raciones para el turno 5 (2-4 pm)
 - ✓ Cantidad mínima de raciones para el turno 6 (4-6 pm)
- 3. Asignación seguimiento a tamizajes nutricionales**
- 4. Asignación seguimiento a identificaciones de necesidades nutricionales**
- 5. Número de profesionales de seguimiento**
- 6. Número de técnicos de seguimiento**
- 7. Condición cantidad tamizajes en el horario 8_10**

7.6.3 Valores posibles de las variables

1. No negatividad.
2. Variables Enteras.

a. Subíndices

SUBÍNDICE	VARIACIÓN
Horas H	<p>$H=1,2,\dots,6$ Nota: 6 turnos de elaboración (6-8 am, 8-10 am, 10-12 m, 12-2 pm, 2-4 pm, 4-6 pm)</p>
Nivel Educativo z	<p>z: Primaria, secundaria</p>
Tipo de Alimento Nutritivo y	<p>y: Dieta A, Dieta B, Dieta C</p>
Horario de Seguimientos s	<p>s: 8-10, 10-12, 12-14 <u>Nota:</u> Se trabajan 3 turnos de seguimiento, uno de 8 am a 10 m, de 10 am a 12 m y de 12 m a 2 pm.</p>
Tipo de Identificación de Necesidades Nutricionales x	<p>x: Déficit peso, exceso peso, déficit talla <u>Nota:</u> Existen diferentes necesidades nutricionales según si el niño (a) presenta bajo o exceso de peso.</p>
Tipo de Tamizaje Nutricional w	<p>w: Anamnesis nutricional, examen físico y examen laboratorio <u>Nota:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Anamnesis nutricional: Forma parte de la historia nutricional y constituye el primer paso de la evaluación nutricional. 2. Examen físico: Se realiza en enfermería tiene como principal fin el reunir datos inherentes a la salud del niño(a). 3. Examen laboratorio: Proceso de atención a la salud que se apoya en el estudio de

SUBÍNDICE	VARIACIÓN
	distintas muestras biológicas mediante su análisis en laboratorio.

b. Parámetros

PARÁMETRO	SIGNIFICADO	UNIDADES
MIR _z	Número de raciones necesarias por turno de elaboración al día	Raciones/día
ZS _{yz}	Número de raciones alimenticias tipo y requeridas en el nivel educativo z	Raciones/día
ZX _{wz}	Número de tamizajes nutricionales tipo w asignados al nivel z al día	Tamizajes/día
A _{xz}	Número de identificaciones de necesidades nutricionales tipo x asignadas al nivel z al día	Identificaciones/día
CTS	Costo técnico de seguimiento por día	\$/día
CMP	Costo profesional de seguimiento por día	\$/día
RP	Relación cantidad de evaluaciones totales por técnico	Evaluaciones/técnico
SD	Relación cantidad de niños por profesional	Número de niños/profesional

c. Variables de Decisión

VARIABLES	SIGNIFICADO
AL_{xzs}	Número de identificación de necesidades nutricionales del tipo x en el nivel z con seguimiento en el horario s al día
KV_{wzs}	Número de tamizajes nutricionales del tipo w en el nivel z con seguimiento en el horario s al día
TS_z	Número de técnicos de seguimiento por asignar al nivel z al día
PS_z	Número de profesionales de seguimiento por asignar al nivel z al día
K_{1z}	Número de raciones a elaborar en turno de 6:00 – 8:00 am en el nivel educativo z al día
K_{2z}	Número de raciones a elaborar en turno de 8:00 – 10:00 am en el nivel educativo z al día
K_{3z}	Número de raciones a elaborar en turno de 10:00 – 12:00 m en el nivel educativo z al día
K_{4z}	Número de raciones a elaborar en turno de 12:00 – 2:00 pm en el nivel educativo z al día
K_{5z}	Número de raciones a elaborar en turno de 2:00 – 4:00 pm en el nivel educativo z al día
K_{6z}	Número de raciones a elaborar en turno de 4:00 – 6:00 pm en el nivel educativo z al día

7.6.4 Modelo Matemático de la Función Objetivo

Minimizar Costos diarios

Z = Costo por personal profesional de seguimiento asignado por nivel + Costo por personal técnico de seguimiento asignado por nivel.

$$MIN Z = CMP * \sum_{z=1}^2 PS_z + CTS * \sum_{z=1}^2 TS_z$$

↓

COSTO POR PERSONAL ASIGNADO – PROFESIONAL DE SEGUIMIENTO

↓

COSTO POR PERSONAL ASIGNADO – TÉCNICO DE SEGUIMIENTO

7.6.5 Modelo Matemático de las Restricciones

- **Demanda**

1. **Número total de raciones diarias distribuidas por nivel educativo y por turno de elaboración:** la cantidad de raciones alimenticias por tipo y nivel deben ser asignadas a los diferentes turnos de elaboración

$$\sum_{z=1}^2 \sum_{h=1}^6 K_{hz} = \sum_{z=1}^2 \sum_{y=1}^3 ZS_{yz}$$

↓

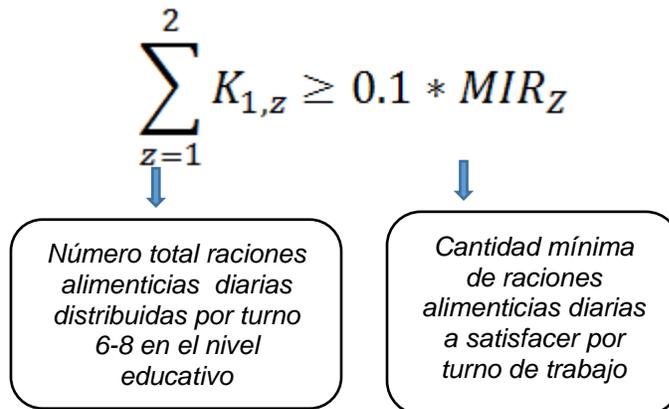
Número total raciones alimenticias distribuidas por turno de elaboración y nivel educativo al día

↓

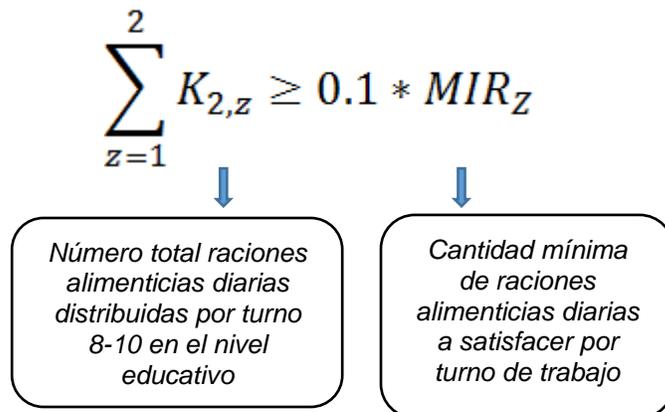
Cantidad necesaria de raciones alimenticias por tipo de dieta y nivel educativo al día

2. Cantidad mínima de raciones alimenticias por turno de trabajo y nivel educativo

- ✓ Cantidad mínima de raciones para el turno 1 (6-8 am): corresponde a la cantidad de raciones tipo desayuno dirigido a los niños de primer y segundo grado (10% del total de niños)

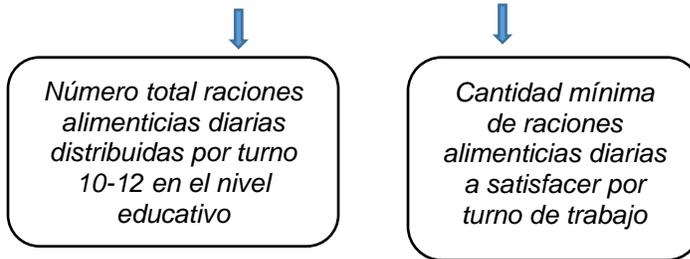


- ✓ Cantidad mínima de raciones para el turno 2 (8-10 am): corresponde a la cantidad de raciones tipo desayuno dirigido a los niños de preescolar y tercer grado (10% del total de niños)



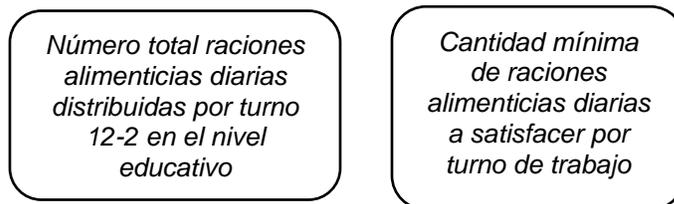
- ✓ Cantidad mínima de raciones para el turno 3 (10-12 m): corresponde a la cantidad de raciones tipo almuerzo dirigido a los niños de cuarto y quinto grado de ambas jornadas y los niños de secundaria beneficiados (30% del total de niños)

$$\sum_{z=1}^2 K_{3,z} \geq 0.3 * MIR_z$$



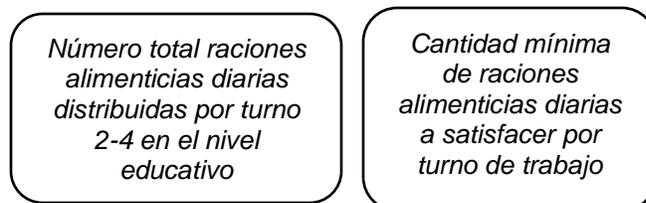
- ✓ Cantidad mínima de raciones para el turno 4 (12-2 pm): corresponde a la cantidad de raciones tipo almuerzo dirigido a los niños de cuarto y quinto grado de ambas jornadas y los niños de secundaria beneficiados (30% del total de niños)

$$\sum_{z=1}^2 K_{4,z} \geq 0.3 * MIR_z$$

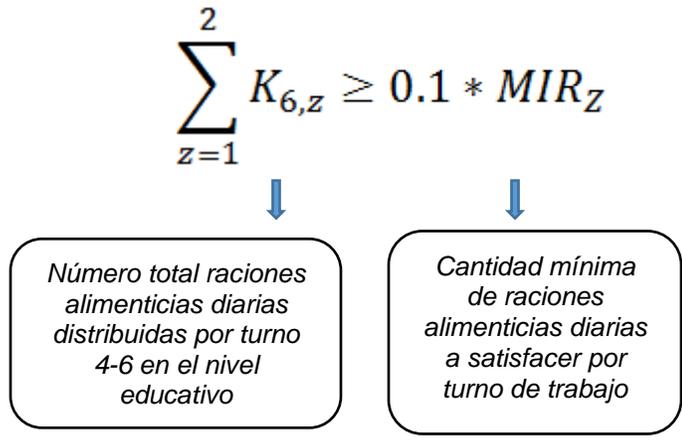


- ✓ Cantidad mínima de raciones para el turno 5 (2-4 pm): corresponde a la cantidad de raciones tipo almuerzo dirigido a los niños de preescolar y tercer grado (10% del total de niños)

$$\sum_{z=1}^2 K_{5,z} \geq 0.1 * MIR_z$$

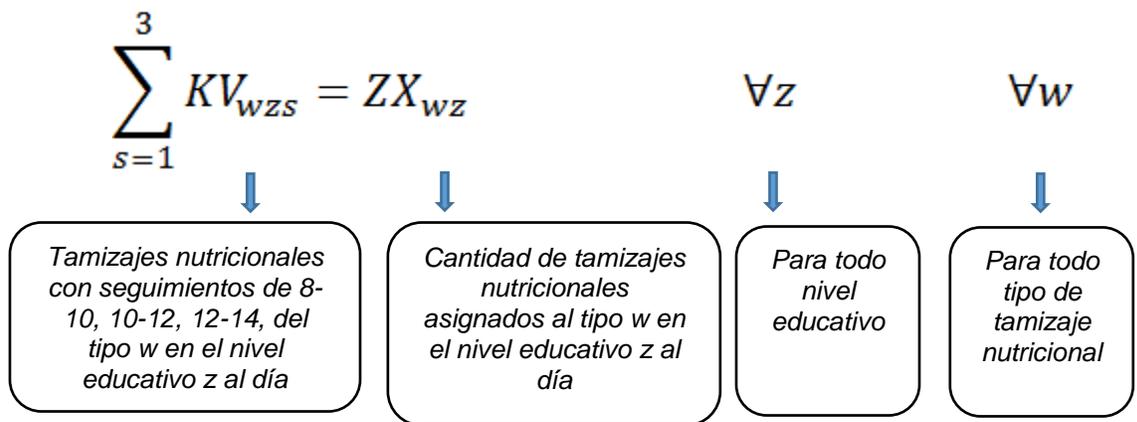


- ✓ Cantidad mínima de raciones para el turno 6 (4-6 pm): corresponde a la cantidad de raciones tipo refrigerio dirigido a los niños de primer y segundo grado (10% del total de niños)

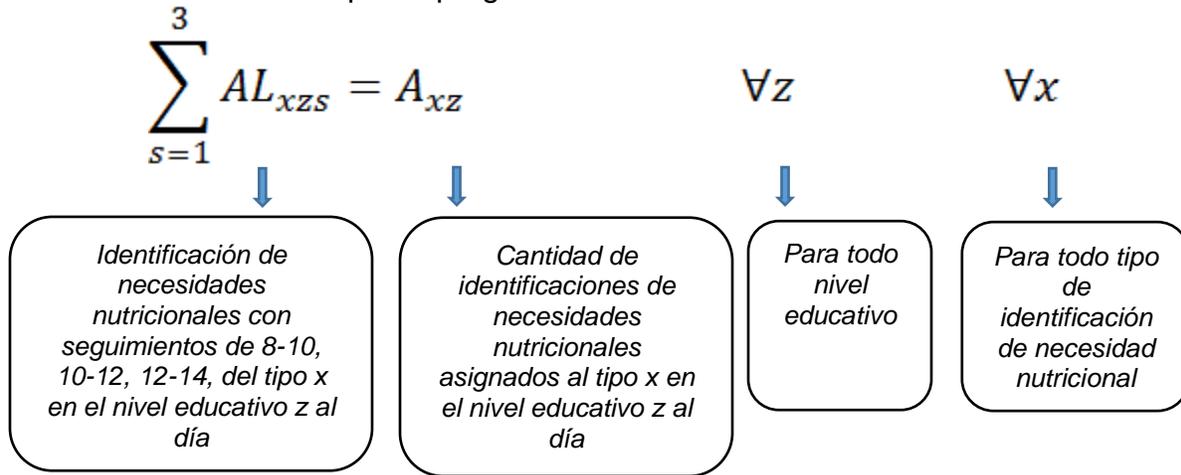


- **Seguimientos**

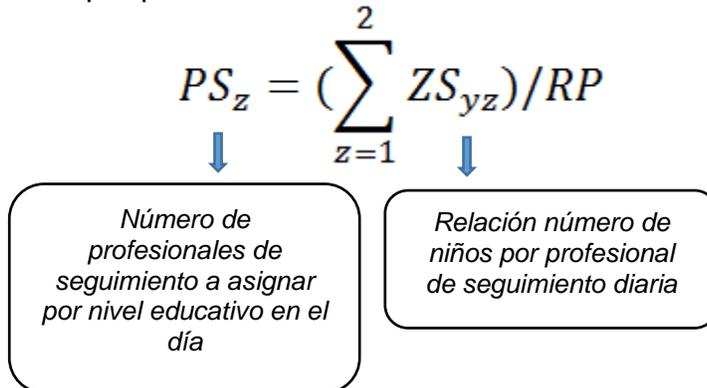
- 3. Asignación seguimiento a tamizajes nutricionales:** asignación de seguimiento de exámenes de tamizajes nutricionales a los horarios de seguimiento establecidos por el programa



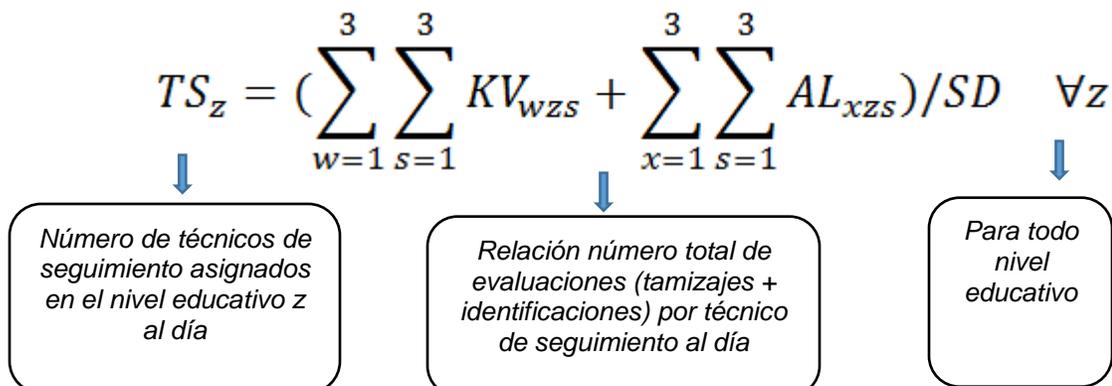
4. **Asignación seguimiento a identificaciones de necesidades nutricionales:** asignación de seguimiento de exámenes de identificación de necesidades nutricionales a los horarios de seguimiento establecidos por el programa



5. **Número de profesionales de seguimiento:** la cantidad de profesionales de seguimiento corresponden a la relación de número de niños por profesional definidos en los lineamientos del programa



6. **Número de técnicos de seguimiento:** la cantidad de técnicos de seguimiento corresponden a la relación de número total de evaluaciones por técnico definidos en los lineamientos del programa



VARIABLES	SIGNIFICADO
$K_{1z} \geq 0$	Número de raciones a elaborar en turno de 6:00 – 8:00 am en el nivel educativo z
$K_{2z} \geq 0$	Número de raciones a elaborar en turno de 8:00 – 10:00 am en el nivel educativo z
$K_{3z} \geq 0$	Número de raciones a elaborar en turno de 10:00 – 12:00 m en el nivel educativo z
$K_{4z} \geq 0$	Número de raciones a elaborar en turno de 12:00 – 2:00 pm en el nivel educativo z
$K_{5z} \geq 0$	Número de raciones a elaborar en turno de 2:00 – 4:00 pm en el nivel educativo z
$K_{6z} \geq 0$	Número de raciones a elaborar en turno de 4:00 – 6:00 pm en el nivel educativo z

Variables Enteras

Las variables que se listan en el siguiente cuadro se restringen a valores enteros.

VARIABLES	SIGNIFICADO
$AL_{xzs} > 0$	Número de equipos de identificación de necesidades nutricionales del tipo x en el nivel z con seguimiento en el horario s
$KV_{wzs} > 0$	Número de equipos de tamizajes nutricionales del tipo w en el nivel z con seguimiento en el horario s
$TS_z > 0$	Número de técnicos de seguimiento por asignar al nivel z
$PS_z > 0$	Número de profesionales de seguimiento por asignar al nivel z

7.6.6 Resultados del Modelo de Optimización para el caso de estudio

- Número de raciones a elaborar en el nivel z

	PRIMARIA	SECUNDARIA
6:00 am – 8:00 am	120.	60.
8:00 am – 10:00 am	120.	60.
10:00 am – 12:00 m	360.	180.
12:00 m – 2:00 pm	360.	180.
2:00 pm – 4:00 pm	120.	60.
4:00 pm – 6:00 pm	120.	60.

- Número de técnicos de seguimiento por asignar al nivel z en el día (3 turnos)

PRIMARIA 20. SECUNDARIA 20.

- Número de profesionales de seguimiento por asignar al nivel z en el día (2 turnos)

PRIMARIA 12. SECUNDARIA 6.

- Número de equipos de identificación de necesidades nutricionales del tipo x en el nivel z con seguimiento en el horario s

	8_10	10_12	12_14
DEFICIT_PESO .PRIMARIA		16.	
DEFICIT_PESO .SECUNDARIA			16.
EXCESO_PESO .PRIMARIA		12.	
EXCESO_PESO .SECUNDARIA	12.		
DEFICIT_TALLA.PRIMARIA			12.
DEFICIT_TALLA.SECUNDARIA		12.	

- Número de equipos de tamizajes nutricionales del tipo w en el nivel z con seguimiento en el horario s

	8_10	10_12	12_14
ANAMNESIS_NUTRICIONAL.PRIMARIA	12.	18.	
ANAMNESIS_NUTRICIONAL.SECUNDARIA	12.	18.	
EXAMEN_FISICO .PRIMARIA	2.	3.	

EXAMEN_FISICO	.SECUNDARIA	2.		3.
EXAMEN_LABORATORIO	.PRIMARIA	2.	3.	
EXAMEN_LABORATORIO	.SECUNDARIA	2.		3.

- Función objetivo

MIP Solution: 2100000. (3 iterations, 0 nodes)

MIN Z = \$2.100.000 /día

7.7 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DESARROLLO DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN

Para realizar el análisis e interpretación de los resultados obtenidos con el modelo de optimización se hace necesario comparar con los valores invertidos por el programa en dicho plan

- Recursos invertidos por el PLAN ANUAL DE NUTRICIÓN para la comuna del rio Otún durante la vigencia 2008-2011**

Recursos totales invertidos en el PAN - 2008

Código Banco	Concepto	Año 2008					
		Total POAI (Plan Operativo Anual de Inversiones)	Recursos Propios	Sistema General de Participación	Entidad Ejecutora	Personal Disponible PAN	Total Recursos Invertidos en C. Río Otún
710089	Mejoramiento del Programa de Seguridad Alimentaria y Nutricional para su transformación en Política Pública en el Municipio de Pereira.	1.309.555.417	562.575.793	746.979.624	Secretaría de Desarrollo Social	3 Técnicos	78.947.000
710024	Mejoramiento del Componente de Salud Pública de la Seguridad Alimentaria en el Municipio de Pereira.	228.128.103	18.216.399	209.911.704	Secretaría de Salud	2 Técnicos 1 Profesional	

Recursos totales invertidos en el PAN - 2009

Código Banco	Concepto	Año 2009					
		Total POAI (Plan Operativo Anual de Inversiones)	Recursos Propios	Sistema General de Participación	Entidad Ejecutora	Personal Disponible PAN	Total Recursos Invertidos en C. Río Otún
710089	Mejoramiento del Programa de Seguridad Alimentaria y Nutricional para su transformación en Política Pública en el Municipio de Pereira.	2.453.876.128	1.054.167.919	1.399.708.209	Secretaría de Desarrollo Social	3 Técnicos 1 Profesionales	208.477.000
710024	Mejoramiento del Componente de Salud Pública de la Seguridad Alimentaria en el Municipio de Pereira.	343.205.897	27.405.548	315.800.349	Secretaría de Salud	3 Técnicos 2 Profesionales	

Recursos totales invertidos en el PAN - 2010

Código Banco	Concepto	Año 2010					
		Total POAI (Plan Operativo Anual de Inversiones)	Recursos Propios	Sistema General de Participación	Entidad Ejecutora	Personal Disponible PAN	Total Recursos Invertidos en C. Río Otún
710089	Mejoramiento del Programa de Seguridad Alimentaria y Nutricional para su transformación en Política Pública en el Municipio de Pereira.	4.236.568.455	1.820.000.000	2.416.568.455	Secretaría de Desarrollo Social	5 Técnicos 2 Profesionales	427.603.000
710024	Mejoramiento del Componente de Salud Pública de la Seguridad Alimentaria en el Municipio de Pereira.	628.666.000	50.200.000	578.466.000	Secretaría de Salud	2 Técnicos 4 Profesionales 2 Especializados	

Recursos totales invertidos en el PAN - 2011

Código Banco	Concepto	Año 2011					
		Total POAI (Plan Operativo Anual de Inversiones)	Recursos Propios	Sistema General de Participación	Entidad Ejecutora	Personal Disponible PAN	Total Recursos Invertidos en C. Río Otún
710089	Mejoramiento del Programa de Seguridad Alimentaria y Nutricional para su transformación en Política Pública en el Municipio de Pereira.	6.850.132.877	2.914.500.600	3.935.632.277	Secretaría de Desarrollo Social	7 Técnicos 4 Profesionales	862.655.859
710024	Mejoramiento del Componente de Salud Pública de la Seguridad Alimentaria en el Municipio de Pereira.	844.273.190	93.207.560	751.065.630	Secretaría de Salud	4 Técnicos 5 Profesionales 3 Especializados	

b. Resultado del Modelo de Optimización: Modelo de Optimización para la selección del tipo de Alimento Nutritivo y la asignación de recursos de Identificación de Necesidades Nutricionales y Tamizajes Nutricionales.

La aplicación de este enfoque metodológico a través de la Programación Entera Mixta, permitió encontrar un escenario que a través de las correspondientes asignaciones de recursos para la efectividad del Plan Anual de Nutrición en los niños y niñas de la Comuna Río Otún de la Ciudad de Pereira 2008 – 2011. El resultado del Programa GAMS presentó un porcentaje de ahorro promedio de costos del 13.41% sobre un valor total del plan estimado por la Administración Municipal de \$1'577.682.859, equivalente a una reducción de \$210.482.859 durante la vigencia del plan

El anterior valor representa \$52.620.715 anual para el período 2008 – 2011, el siguiente cuadro muestra los ahorros obtenidos con la aplicación del programa:

**CONSOLIDADO DE RECURSOS PLAN ANUAL DE NUTRICIÓN
INVERTIDOS EN LA COMUNA RÍO OTÚN
2008 – 2011**

ITEM	VALOR PLAN REAL (\$)	VALOR PLAN GAMS (\$)	AHORRO PLAN GAMS (\$)	%
RECURSOS PARA ALIMENTOS NUTRITIVOS	783.742.658	697.950.000	85.792.658	10.94%
RECURSOS PARA IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES NUTRICIONALES	273.545.114	239.250.000	34.295.114	12.53%
RECURSOS PARA TAMIZAJES NUTRICIONALES	255.098.772	220.000.000	35.098.772	13.75%
OTROS RECURSOS PARA SEGUIMIENTO	265.296.315	210.000.00	55.296.315	20.84%
TOTAL RECURSOS 2008 – 2011	1.577.682.859	1.367.200.000	210.482.859	13.41%

8. CONCLUSIONES

- La literatura revisada muestra que el modelo de optimización que más se adapta a la problemática abordada en el Plan Anual de Nutrición es la programación Lineal Entera ya que esta permite minimizar la función objetivo de costos atendiendo a una serie de restricciones de asignación de recursos. Las variables de decisión de los modelos elaborados son del tipo entero
- La aplicación de este enfoque metodológico a través de la Programación Entera Mixta, permitió encontrar un escenario que a través de las correspondientes asignaciones de recursos para el Plan anual de nutrición, presentó un porcentaje promedio de costos del 13.41% sobre un valor total estimado por la administración de \$1'577.682.859, equivalente a una reducción \$210.482.859, lo cual es un valor importante en este tipo de procesos, se obtendría un valor de \$10.000.000 por mes aproximadamente.
- El Municipio de Pereira, a través de las Secretarías de Desarrollo Social y de Salud, viene invirtiendo durante cada año mayor cantidad de recursos técnicos financieros y administrativos. Los recursos invertidos en los niños y niñas de la Comuna Río Otún representaron el 5.13%, 7.45% ,8.79% y 11,21% del total de los recursos del Plan Operativo Anual de Inversiones, provenientes del Sistema General de Participación y de Recursos Propios, destinados para la ejecución del Plan Anual de Nutrición durante los años 2008, 2009, 2010 y 2011 respectivamente. Estas cifras demuestran la importancia que ha venido teniendo el Plan Anual de Nutrición dentro de los Programas desarrollados por la Alcaldía y a su vez la importancia de destinar año tras año una mayor cantidad de recursos para la población infantil de la Comuna Río Otún.
- Con la estrategia de optimización mediante la aplicación de un modelo de programación lineal entera se permitió encontrar un escenario de reducción de

los recursos asignados al cumplimiento del plan con las condiciones establecidas por el nominador discriminados en una disminución del 10.94% de los recursos asignados para alimentación (dando solución al problema del mismo tipo de ración para todos los estudiantes y la entrega de esta ración en cualquier horario), disminución del 12.53% de los recursos asignados para la realización de los exámenes para la identificación de las necesidades nutricionales (cumpliendo los requerimientos del programa), disminución del 13.75% de los recursos destinados para la realización de los tamizajes nutricionales (optimizado para realizar un análisis preliminar de los niños y niñas que presentan problemas nutricionales) y finalmente una disminución del 20.84% en los recursos destinados para la evaluación y seguimiento del programa.

- La realización de modelos de optimización aplicados a fenómenos sociales son de gran importancia para la sociedad. En el caso de los modelos de optimización aplicados al Plan Anual de Nutrición de la comuna del Rio Otún permitió encontrar escenarios donde se permite obtener valores de dicho plan optimizado que permitan ser reinvertidos en otras necesidades de la comunidad, ampliar el plan a un número más grande de niños y niñas u ofrecer más de una ración alimenticia.
- El trabajo descriptivo permitió identificar el impacto del Plan Anual de Nutrición en la comuna del Rio Otún durante la vigencia del 2008 -2011. Los indicadores muestran un grado de aceptación muy alto en cuanto a la cantidad y calidad de los alimentos recibidos. Además, la receptividad de las diferentes familias a las acciones nutricionales emprendidas por el plan y las recomendaciones hechas para mejorar el funcionamiento de esta estrategia social

9. RECOMENDACIONES

- Para el éxito de la operación continua del Plan Anual de Nutrición, es muy importante el papel de las Secretarías de Desarrollo Social y de Salud del Municipio de Pereira en la articulación de los procesos y procedimientos llevados a cabo para el desarrollo del Plan, donde los padres de familia, madres comunitarias, personal de apoyo, Junta de Acción Comunal, comuneros, docentes y los niños y niñas de la Comuna unan sus esfuerzos para mantener activo el Plan, que tanto beneficio ha traído a la comunidad en general.
- Se debe buscar incrementar cada año el Índice de Valoración del Estado Nutricional (IVEN), mediante la realización de los Talleres de Nutrición dictados por la Secretaría de Salud Municipal a fin de lograr incrementar la buena educación de la conducta alimentaria en los niños y niñas de la Comuna Río Otún, y conseguir así un buen estado nutricional, un aprendizaje de hábitos alimenticios saludables y un conocimiento de los hábitos higiénicos básicos.
- La Alcaldía de Pereira debe realizar la difusión local y nacional, del alcance y logros del Plan a favor de la población infantil vulnerable de la ciudad, como una estrategia de gestión para canalizar los recursos económicos a favor de la ampliación de la cobertura.

9.1 TRABAJOS FUTUROS

- Para futuros trabajos se espera incorporar otros parámetros de importancia dentro del modelo como la eficiencia nutricional en términos de ganancia o pérdida de peso y talla, además de algunos costos no contemplados dentro del presente trabajo como los costos del beneficio social y el impacto esperado

10. BIBLIOGRAFÍA

- Abate, L. (2010). *Diseño e implementación de un plan nutricional optimizado en un centro de cuidado infantil de la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del litoral.
- Bernal, C. A. (1999). *Metodología de la investigación para administración y economía*. Prentice Hall.
- Butte, N. (2008). Mathematical modelling weight gain and weight loss in children and adolescent. *Children's nutrition research center*.
- Centro de estudios económicos CEDE. (2010). Malnutrición en niños y adolescentes en Colombia: diagnóstico y recomendaciones de política. *Notas de Política Universidad de los Andes*, 1-6.
- Chica, F. (2012). *Alternativas de gestión pública a la segregación residencial por reubicación de viviendas en la ciudad de Pereira*. Pereira: UTP.
- DANE. (2005). *Censo general - Perfil Pereira*. Pereira: Publicaciones DANE.
- Epstein et al. (2001). Programación entera mejora el proceso de licitación de raciones alimenticias. *Revista Ingeniería de Sistemas*, 13-30.
- Feres, J. y. (2001). Enfoques para la medición de la pobreza. Breve revisión de la literatura. *CEPAL*, 1-46.
- Fernandez et al. (2010). *Técnicas de simulación: de la teoría a la práctica*. Pereira: Gráficas Buda.
- Galindo, M. (2007). Producción de alimentos apoyada por la programación lineal. *Ingeniería primero*.

- Gallego et al. (2007). *Programación lineal y flujo de redes*. Pereira: UTP.
- García et al. (2009). Modelo matemático de optimización para granjas integrales de agricultura sostenible. *Revista computarizada de producción porcina*, 1-10.
- Martínez et al. (2006). *Caracterización del estado nutricional y los factores de riesgo individuales y sociales de los jóvenes menores de 14 años y las mujeres gestantes residentes en la comuna del Río Otún en la ciudad de Pereira*. Pereira: Fundación Universitaria del Área Andina.
- MINSALUD. (06 de 2013). *Plan decenal de salud pública 2012-2021*. Obtenido de <http://www.minsalud.gov.co/plandecenal/Paginas/home2013.aspx>
- Morales, M. (2011). *Modelo de optimización para la operación de corte, alce, arrastre, transporte y entrega de caña de azúcar*. Pereira: UTP.
- Moreno Rojas, J. H. (2006). *El impacto de los desastres: análisis desde el sector vivienda*. Pereira: UTP.
- Ocampo et al. (2013). Evaluación del estado nutricional en población menor de 10 años en el municipio de Pereira. *Revista Médica de Risaralda*, 68-74.
- Oficina de atención a comunidades de la Alcaldía Municipal de Pereira. (02 de 2012). Plan Anual de Nutrición.
- Reinaga, E. (2006). *Modelo matemático asignación seguimiento al consumo de alimentos que permite obtener indicadores de extrema pobreza y desnutrición*. Oruro: Universidad Técnica de Oruro.
- Wang et al. (2006). Total body protein mass: Validation of total body potassium prediction model in children and adolescents. *The Journal of Nutrition*, 1032-1036.

11.GLOSARIO

- **Anamnesis Nutricional:** Examen que investiga antecedentes, patrones alimentarios y tamaño de porciones entre la talla y la estatura.
- **Examen Físico:** Evaluación metódica de una persona mediante la inspección, palpación, auscultación, percusión y/o medida de signos vitales (temperatura, pulso, presión y respiración).
- **Examen de Laboratorio:** Evaluación metódica de una persona mediante la ayuda de una batería de Test de Laboratorio
- **Indicador de Valoración del Estado Nutricional:** Cifra que refleja la situación en la que se encuentra un niño en relación con la ingesta y las adaptaciones fisiológicas que tienen lugar tras el ingreso de nutrientes.
- **Impacto Social:** Son los efectos que una investigación planteada tiene sobre una comunidad en general.
- **Matriz de Leopold:** Metodología que procede a cuantificar los impactos (sociales, ambientales, etc) de un estudio o proyecto por medio de cálculos, simulaciones, medidas o estimaciones.

ANEXOS

Anexo A. Formato de la Encuesta

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INVESTIGACIÓN OPERATIVA Y ESTADÍSTICA

ENCUESTA

OBJETIVO: Realizar un análisis socioeconómico de la efectividad del Plan Anual de Nutrición en los niños y niñas de la Comuna Río Otún de la ciudad de Pereira 2008 – 2011, mediante un modelo de optimización.

NOMBRE _____

DIRECCIÓN _____

1. ¿Cuántas personas conforman su hogar?

1 a 3	
4 a 6	
Más de 6	

2. ¿Cuántas niños y niñas pertenecientes al Plan Anual de Nutrición de la Alcaldía de Pereira hay en su hogar?

1	
2	
3	
4	
5	
6 ó más	

3. ¿Qué edades tienen los niños y niñas de su hogar que pertenecen al Plan Anual de Nutrición?

No.	Niños	Niñas
1		
2		
3		
4		
5		
6		

4. ¿Cómo se enteró de la existencia del Plan Anual de Nutrición de la Alcaldía Municipal de Pereira?

5. ¿Tuvo que recurrir a un intermediario para ingresar sus niños y niñas al Plan Anual de Nutrición o lo hizo por cuenta propia?

Intermediario	
Por cuenta propia	

6. ¿Cuántos años llevan sus hijos como beneficiarios del Plan Anual de Nutrición?

1	
2	
3 ó más	

7. ¿Cuántas veces al día reciben alimentos sus hijos como beneficiarios del Plan Anual de Nutrición?

1	
2	
3 ó más	

8. ¿Han sido visitados alguna vez por funcionarios del Plan Anual de Nutrición de la Alcaldía Municipal de Pereira?

Si	
No	

9. ¿Está de acuerdo con la forma en que se distribuyen los alimentos a sus hijos?

Si	
No	

Por qué?

10. ¿Las personas encargadas de entregar los alimentos a los niños y niñas, lo hacen de manera ágil y respetuosa?

Si	
No	

11. ¿Los niños y niñas reciben en buenas condiciones los alimentos?

Si	
No	

12. ¿Los niños y niñas quedan con hambre después de los alimentos recibidos?

Si	
No	

13. ¿Considera que los alimentos brindados a los niños y niñas han contribuido con su buena nutrición?

Si	
No	

Por qué?

14. A sus niños y niñas les gustan los alimentos que les brindan del Plan Anual de Nutrición?

Si	
No	

15. ¿Qué sugerencias tiene para hacer respecto al Plan Anual de Nutrición de la Alcaldía de Pereira?

Gracias,

CARLOS ENRIQUE CASTRILLÓN CASTAÑO
Estudiante Maestría en Investigación Operativa y Estadística
Trabajo de Grado
UTP – 2012

CÓDIGOS EN SOFTWARE GAMS

\$ONTEXT

PROBLEMA 1: Modelo de optimización para la selección del tipo de alimento nutritivo y la asignación de recursos de tamizajes y necesidades nutricionales.

\$OFFTEXT

SET

Z NIVEL EDUCATIVO /PRIMARIA, SECUNDARIA/

Y TIPO DE RACION /DIETA_A, DIETA_B, DIETA_C/

X IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES NUTRICIONALES
/DEFICIT_PESO, EXCESO_PESO,

DEFICIT_TALLA/

W TAMIZAJE NUTRICIONAL /ANAMNESIS_NUTRICIONAL,
EXAMEN_FISICO, EXAMEN_LABORATORIO/;

TABLE ZQ(X,Z) COSTO POR IDENTIFICACION DE NECESIDAD
NUTRICIONAL TIPO X NIVEL Z

PRIMARIA SECUNDARIA

DEFICIT_PESO 2000 3000

EXCESO_PESO 2000 3000

DEFICIT_TALLA 2000 3000;

TABLE ZN(X,Z) COSTO POR IDENTIFICACION DE NECESIDAD NUTRICIONAL TIPO X INEFICIENTE

PRIMARIA SECUNDARIA

DEFICIT_PESO	1000	1500
EXCESO_PESO	1000	1500
DEFICIT_TALLA	1000	1500;

TABLE S(W,Z) COSTO POR TAMIZAJE NUTRICIONAL TIPO W EN EL NIVEL Z

PRIMARIA SECUNDARIA

ANAMNESIS_NUTRICIONAL	2000	3000
EXAMEN_FISICO	3000	4000
EXAMEN_LABORATORIO	5000	5000;

TABLE R(W,Z) COSTO POR TAMIZAJE NUTRICIONAL TIPO W INEFICIENTE EN EL NIVEL Z

PRIMARIA SECUNDARIA

ANAMNESIS_NUTRICIONAL	1000	1500
EXAMEN_FISICO	1500	2000
EXAMEN_LABORATORIO	2500	2500;

TABLE ZP(Y,Z) COSTO POR TIPO DE RACIÓN PARA NIVEL Z

PRIMARIA SECUNDARIA

DIETA_A	600	700
DIETA_B	700	800

DIETA_C 650 750;

TABLE ZM(Y,Z) COSTO DE ENVIO POR TIPO DE RACION Y AL NIVEL Z

	PRIMARIA	SECUNDARIA
DIETA_A	30	50
DIETA_B	30	50
DIETA_C	30	50;

PARAMETERS

K(Z) NÚMERO DE NIÑOS DISPONIBLES PARA EL PROGRAMA POR
NIVEL Z AL DIA /PRIMARIA 1200

600/ SECUNDARIA

J(Z) NUMERO DE TAMIZAJES MINIMAS EN CADA NIVEL
/PRIMARIA 30

30/ SECUNDARIA

B(Z) NUMERO DE IDENTIFICACIONES MINIMAS EN CADA NIVEL
/PRIMARIA 30

30/ SECUNDARIA

CAT(Z) NÚMERO DE TAMIZAJES MAXIMOS POR NIVEL Z EN EL DIA
/PRIMARIA 40

40/ SECUNDARIA

CUT(Z) NÚMERO DE IDENTIFICACIONES MAXIMOS POR NIVEL Z EN EL
DIA /PRIMARIA 40

SECUNDARIA

40/

M(Z) NÚMERO MÁXIMO DE TAMIZAJES INEFICIENTES POR NIVEL
/PRIMARIA 5

SECUNDARIA

5/

P(Z) NÚMERO MÁXIMO DE IDENTIFICACIONES INEFICIENTES POR
NIVEL /PRIMARIA 6

SECUNDARIA

6/

ZK(Z) CAPACIDAD PERSONA SERVIDO POR NIVEL EDUCATIVO POR
TURNO AL DIA /PRIMARIA 300

SECUNDARIA

320/

ZY(Z) NUMERO MAXIMO PERSONAS PARA SERVIDO POR TURNO
/PRIMARIA 2

SECUNDARIA

1/

;

SCALARS

CI COSTO POR PERSONA ASIGNADA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE
NECESIDADES NUTRICIONALES EN EL NIVEL Z /25000/

CT COSTO POR PERSONA ASIGNADA PARA EL TAMIZAJE
NUTRICIONAL EN EL NIVEL Z /25000/

CS COSTO POR RACION DE ALIMENTO NUTRITIVO NO ENVIADO A
LOS CENTROS EDUCATIVOS /200/

T NÚMERO DE PERSONAS DISPONIBLES PARA LA REALIZACIÓN DE
TAMIZAJES NUTRICIONALES AL DIA /10/

V NÚMERO DE PERSONAS DISPONIBLES PARA LA IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES NUTRICIONALES AL DIA /10/

CPT CAPACIDAD PERSONA PARA TAMIZAJE NUTRICIONAL AL DIA /3/

CPI CAPACIDAD PERSONA PARA IDENTIFICACION DE NECESIDADES NUTRICIONALES AL DIA /3/

YS COSTO DE SERVIDO POR RACIÓN AL DIA /10/

ZO NÚMERO DE TURNOS PARA PERSONAS DE SERVIDO AL DÍA /2/

;

VARIABLES

A(X,Z) NÚMERO DE IDENTIFICACIONES DE NECESIDADES NUTRICIONALES TIPO X ASIGNADAS AL NIVEL Z AL DIA

ZZ(X,Z) NÚMERO DE IDENTIFICACIONES DE NECESIDADES NUTRICIONALES TIPO X INEFICIENTES EN EL NIVEL Z AL DIA

ZU(Z) NÚMERO DE PERSONAS ASIGNADAS A LA IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES NUTRICIONALES DEL NIVEL Z AL DIA

ZX(W,Z) NÚMERO DE TAMIZAJES NUTRICIONALES TIPO W ASIGNADOS AL NIVEL Z AL DIA

ZW(W,Z) NÚMERO DE TAMIZAJES NUTRICIONALES TIPO W INEFICIENTES EN EL NIVEL Z AL DIA

ZT(Z) NÚMERO DE PERSONAS ASIGNADAS A LOS TAMIZAJES NUTRICIONALES DEL NIVEL Z AL DIA

ZD NUMERO DE RACIONES DE ALIMENTOS NUTRITIVOS NO ENVIADOS A LOS CENTROS EDUCATIVOS AL DIA

ZS(Y,Z) NÚMERO DE DE RACIONES DE CADA TIPO Y POR NIVEL Z DIA

YX(Z) NÚMERO DE SERVIDORES ASIGNADOS AL NIVEL EDUCATIVO

F;

POSITIVE VARIABLES ZD,ZS;

INTEGER VARIABLES A,ZZ,ZU,ZX,ZW,ZT;

EQUATIONS

OBJ FUNCION OBJETIVO

*CENTRO EDUCATIVO

NINOS_DISPONIBLES(Z) NIÑOS DISPONIBLES DE CADA NIVEL

*RACIONES

CANTIDAD_RACIONES_TIPO_A_REQUERIDA(Z) RACIONES TIPO A REQUERIDA

CANTIDAD_RACIONES_TIPO_B_REQUERIDO(Z) RACIONES TIPO B REQUERIDA

CANTIDAD_RACIONES_TIPO_C_REQUERIDO(Z) RACIONES TIPO C REQUERIDA

* TAMIZAJES REQUERIDOS POR TIPO

TAMIZAJES_MINIMOS(Z) TAMIZAJES TIPO W REQUERIDO POR NIVEL

TAMIZAJES_TOTALES_MAXIMAS(Z) TAMIZAJES EFICIENTES + TAMIZAJES INEFICIENTES

TAMIZAJES_INEFICIENTES_MAXIMOS(Z) MAXIMO PERMITIDO TAMIZAJES INEFICIENTES

CANTIDAD_ANAMNESIS_NUTRICIONAL(Z) TAMIZAJES TIPO ANAMNESIS REQUERIDO

CANTIDAD_EXAMEN_FISICO(Z) TAMIZAJES TIPO E.FISICO REQUERIDO

CANTIDAD_EXAMEN_LABORATORIO(Z) TAMIZAJES TIPO E.LABOR
REQUERIDO

*IDENTIFICACIONES REQUERIDAS POR TIPO

IDENTIFICACIONES_MINIMAS(Z) IDENTIFICACIONES TIPO X
REQUERIDO POR NIVEL

IDENTIFCACIONES_TOTALES_MAXIMAS(Z) IDENTIFICACIONES
EFICIENTES + INEFICIENTES

CANTIDAD_DEFICIT_PESO(Z) IDENTIFICACION TIPO
DEFICIT_PESO REQUERIDO

CANTIDAD_EXCESO_PESO(Z) IDENTIFICACION TIPO
EXCESO_PESO REQUERIDO

CANTIDAD_DEFICIT_TALLA(Z) IDENTIFICACION TIPO
DEFICIT_TALLA REQUERIDO

IDENTIFICACIONES_INEFICIENTES_MAXIMAS(Z) MAXIMO PERMITIDO
IDENTIFICACIONES INEFICIENTES

*PERSONAL DISPONIBLE

PERSONAL_DISPONIBLE_TAMIZAJES(Z) PERSONAS DISPONIBLES
PARA REALIZAR TAMIZAJES NUTRICIONALES AL DIA

PERSONAL_DISPONIBLE_IDENTIFICACIONES(Z) PERSONAS
DISPONIBLES PARA REALIZAR IDENTIFICACION DE NECESIDADES
NUTRICIONALES AL DIA

*CAPACIDAD DE LOS EQUIPOS

CAPACIDAD_EQUIPOS_TAMIZAJES(Z) CAPACIDAD DE EQUIPOS
PARA TAMIZAJES EN CADA NIVEL AL DIA

CAPACIDAD_EQUIPOS_IDENTIFICACIONES(Z) CAPACIDAD DE
EQUIPOS PARA IDENTIFICACIONES DE NECESIDADES NUTRICIONALES
EN CADA NIVEL AL DIA

DISPONIBILIDAD_RACIONES(Y,Z)
EN EL NIVEL EDUCATIVO

DISPONIBILIDAD DE SERVIDOS

DISPONIBILIDAD_SERVIDORES(Z)
SERVIDORES

DISPONIBILIDAD DE

;

OBJ.. F=E=
(SUM((Z,Y),ZP(Y,Z)*ZS(Y,Z)))+(SUM((Z,Y),ZM(Y,Z)*ZS(Y,Z)))+(CS*ZD)+(SUM
((Z,W),S(W,Z)*ZX(W,Z)))+

(SUM((Z,W),R(W,Z)*ZW(W,Z)))+
(SUM((Z,X),ZQ(X,Z)*A(X,Z)))+(SUM((Z,X),ZN(X,Z)*ZZ(X,Z)))+

CT*(SUM((Z),ZT(Z)))+ CI*(SUM((Z),ZU(Z)))+
YS*SUM((Y,Z),ZS(Y,Z)) ;

NINOS_DISPONIBLES(Z) ..

SUM(Y,ZS(Y,Z))=E=K(Z);

CANTIDAD_RACIONES_TIPO_A_REQUERIDA(Z) ..
ZS('DIETA_A',Z)=G=0.7*K(Z);

CANTIDAD_RACIONES_TIPO_B_REQUERIDO(Z) ..
ZS('DIETA_B',Z)=G=0.2*K(Z);

CANTIDAD_RACIONES_TIPO_C_REQUERIDO(Z) ..
ZS('DIETA_C',Z)=G=0.1*K(Z);

TAMIZAJES_MINIMOS(Z)..

SUM(W,ZX(W,Z))=G=J(Z);

TAMIZAJES_TOTALES_MAXIMAS(Z)..
SUM(W,ZW(W,Z))=L=CAT(Z);

SUM(W,ZX(W,Z))+

CANTIDAD_ANAMNESIS_NUTRICIONAL(Z)..

ZX('ANAMNESIS_NUTRICIONAL',Z)=E=0.75*SUM(W,ZX(W,Z));

CANTIDAD_EXAMEN_FISICO(Z)..
ZX('EXAMEN_FISICO',Z)=E=0.125*SUM(W,ZX(W,Z));

CANTIDAD_EXAMEN_LABORATORIO(Z)..
ZX('EXAMEN_LABORATORIO',Z)=E=0.125*SUM(W,ZX(W,Z));

TAMIZAJES_INEFICIENTES_MAXIMOS(Z)..
SUM(W,ZW(W,Z))=L=M(Z);

IDENTIFICACIONES_MINIMAS(Z).. SUM(X,A(X,Z))=G=B(Z);

IDENTIFICACIONES_TOTALES_MAXIMAS(Z).. SUM(X,A(X,Z))+
SUM(X,ZZ(X,Z))=L=CUT(Z);

CANTIDAD_DEFICIT_PESO(Z)..
A('DEFICIT_PESO',Z)=E=0.4*SUM(X,A(X,Z));

CANTIDAD_EXCESO_PESO(Z)..
A('EXCESO_PESO',Z)=E=0.3*SUM(X,A(X,Z));

CANTIDAD_DEFICIT_TALLA(Z)..
A('DEFICIT_TALLA',Z)=E=0.3*SUM(X,A(X,Z));

IDENTIFICACIONES_INEFICIENTES_MAXIMAS(Z)..
SUM(X,ZZ(X,Z))=L=P(Z);

PERSONAL_DISPONIBLE_TAMIZAJES(Z) .. SUM(W,ZT(Z))=G=T;

PERSONAL_DISPONIBLE_IDENTIFICACIONES(Z) ..
SUM(W,ZU(Z))=G=V;

CAPACIDAD_EQUIPOS_TAMIZAJES(Z)..
CPT*SUM(W,ZT(Z))=L=SUM(W,ZX(W,Z));

CAPACIDAD_EQUIPOS_IDENTIFICACIONES(Z)..
CPI*SUM(W,ZU(Z))=L=SUM(X,A(X,Z));

DISPONIBILIDAD_RACIONES(Y,Z).. ZS(Y,Z)=L=ZO*ZK(Z)*YX(Z);

TABLE

A(X,Z) IDENTIFICACIONES DE NECESIDADES NUTRICIONALES

	PRIMARIA	SECUNDARIA
DEFICIT_PESO	16	16
EXCESO_PESO	12	12
DEFICIT_TALLA	12	12;

TABLE

ZX(W,Z) TAMIZAJES NUTRICIONALES

	PRIMARIA	SECUNDARIA
ANAMNESIS_NUTRICIONAL	30	30
EXAMEN_FISICO	5	5
EXAMEN_LABORATORIO	5	5 ;

TABLE

ZS(Y,Z) NIÑOS

	PRIMARIA	SECUNDARIA
DIETA_A	880	440
DIETA_B	120	60
DIETA_C	200	100 ;

PARAMETERS

MIR(Z) NUMERO DE RACIONES NECESARIAS POR TURNO DE ELABORACION /PRIMARIA 1200

SECUNDARIA 600/

;

SCALARS

CTS COSTO TÉCNICO DE SEGUIMIENTO AL DIA /30000/

CMP COSTO PROFESIONAL DE SEGUIMIENTO POR ATENCIÓN /50000/

SD RELACION CANTIDAD EVALUACIONES POR TECNICO /4/

RP RELACION CANTIDAD DE NIÑOS POR PROFESIONAL /100/;

VARIABLES

AL(X,Z,S) NÚMERO DE IDENTIFICACION DE NECESIDADES NUTRICIONALES DEL TIPO X EN EL NIVEL Z CON SEGUIMIENTO EN EL HORARIO S

KV(W,Z,S) NÚMERO DE TAMIZAJES NUTRICIONALES DEL TIPO W EN EL NIVEL Z CON SEGUIMIENTO EN EL HORARIO S

TS(Z) NÚMERO DE TÉCNICOS DE SEGUIMIENTO POR ASIGNAR AL NIVEL Z

PS(Z) NÚMERO DE PROFESIONALES DE SEGUIMIENTO POR ASIGNAR AL NIVEL Z

K(H,Z) NUMERO DE RACIONES ELABORADAS EN EL NIVEL Z HORA H

F;

POSITIVE VARIABLES K;

INTEGER VARIABLES AL,KV,TS,PS;

EQUATIONS

OBJ FUNCION OBJETIVO

*DEMANDA

RACIONES_DIARIAS(Z) SEMANA	NÚMERO TOTAL DE RACIONES A LA SEMANA
RACIONES_1(Z)	NUMERO DE RACIONES
RACIONES_2(Z)	NUMERO DE RACIONES
RACIONES_3(Z)	NUMERO DE RACIONES
RACIONES_4(Z)	NUMERO DE RACIONES
RACIONES_5(Z)	NUMERO DE RACIONES
RACIONES_6(Z)	NUMERO DE RACIONES

*SEGUIMIENTOS

SEGUIMIENTO_TAMIZAJES(W,Z) TAMIZAJES NUTRICIONALES	ASIGNACION SEGUIMIENTO A TAMIZAJES NUTRICIONALES
SEGUIMIENTO_8_10(W,Z)	ASIGNACION TAMIZAJES TURNO 8-10
SEGUIMIENTO_IDENTIFICACIONES(X,Z) IDENTIFICACIONES DE NECESIDADES NUTRICIONALES	ASIGNACION SEGUIMIENTO A IDENTIFICACIONES DE NECESIDADES NUTRICIONALES
PROFESIONALES_SEGUIMIENTO(Z) SEGUIMIENTO (1 POR CADA 90 NIÑOS)	NÚMERO DE PROFESIONALES DE SEGUIMIENTO
TECNICOS_SEGUIMIENTO(Z) SEGUIMIENTO	NÚMERO DE TÉCNICOS DE SEGUIMIENTO

;

OBJ.. $F=E= (CMP*(SUM((Z),PS(Z))))+$
 $(CTS*(SUM((Z),TS(Z)))) ;$

*DEMANDA

RACIONES_DIARIAS(Z).. $SUM((H),K(H,Z))=E=SUM(Y,ZS(Y,Z));$

RACIONES_1(Z).. $K('1',Z)=G=0.1*MIR(Z);$

RACIONES_2(Z).. $K('2',Z)=G=0.1*MIR(Z);$

RACIONES_3(Z).. $K('3',Z)=G=0.3*MIR(Z);$

RACIONES_4(Z).. $K('4',Z)=G=0.3*MIR(Z) ;$

RACIONES_5(Z).. $K('5',Z)=G=0.1*MIR(Z) ;$

RACIONES_6(Z).. $K('6',Z)=G=0.1*MIR(Z) ;$

*SEGUIMIENTOS

SEGUIMIENTO_TAMIZAJES(W,Z).. $SUM((S),KV(W,Z,S))=E=ZX(W,Z);$

SEGUIMIENTO_8_10(W,Z).. $KV(W,Z,'8_10')=E=0.4*ZX(W,Z);$

SEGUIMIENTO_IDENTIFICACIONES(X,Z).. $SUM((S),AL(X,Z,S))=E=A(X,Z);$

PROFESIONALES_SEGUIMIENTO(Z).. $PS(Z)=E=(SUM(Y,ZS(Y,Z)))/RP;$

TECNICOS_SEGUIMIENTO(Z)..

$TS(Z)=E=(SUM((W,S),KV(W,Z,S))+SUM((X,S),AL(X,Z,S)))/SD ;$

MODEL PROBLEMA2A/ALL/;

SOLVE PROBLEMA2A USING MIP MINIMIZING F;

DISPLAY K.L,TS.L,PS.L,AL.L,KV.L;