

Optimization Models in Order to Obtain Nutritional Meals in Low Income Zones

Wilmer Atoche, Msc¹, Juan Nolasco, Bs², Jonatán Rojas, Msc³

¹Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, watoche@pucp.edu.pe

² Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, jjnolasco@pucp.pe

³ Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, jrojas@pucp.pe

Abstract– This document is prepared to provide a model of optimization through techniques of programming and operations research. With this model you want to get a range of food dishes that cover the amount of nutrients needed for the family of low economic resources can meet and sate their dietary needs while minimizing the costs of preparation All this with the aim of reducing the rate of malnutrition in the families of Peru and the world. To achieve this goal, the analysis focuses on the use of mixed integer programming, which uses a series of restrictions and a target function. This is divided into 3 parts: The first part provides a general context about the mixed integer programming for the solution of the problem of obtaining food dishes in order to combat malnutrition and how is that fits into our analysis. The second part, shows the procedures and results obtained for the problem. Finally, the third part contains the conclusions and observations based on the result.

Keywords: optimization, food dishes, nutrients.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.114>

ISBN: 978-0-9822896-9-1

ISSN: 2414-6390

Modelo de optimización para la obtención de platos nutricionales en zonas de bajos recursos económicos

Wilmer Atoche, Msc¹, Juan Nolasco, Bs², Jonatán Rojas, Msc³
¹Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, watoche@pucp.edu.pe
²Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, jnolasco@pucp.pe
³Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, jrojas@pucp.pe

Abstract– This document is prepared to provide a model of optimization through techniques of programming and operations research. With this model you want to get a range of food dishes that cover the amount of nutrients needed for the family of low economic resources can meet and save their dietary needs while minimizing the costs of preparation All this with the aim of reducing the rate of malnutrition in the families of Peru and the world. To achieve this goal, the analysis focuses on the use of mixed integer programming, which uses a series of restrictions and a target function. This is divided into 3 parts: The first part provides a general context about the mixed integer programming for the solution of the problem of obtaining food dishes in order to combat malnutrition and how is that fits into our analysis. The second part, shows the procedures and results obtained for the problem. Finally, the third part contains the conclusions and observations based on the result.

Keywords: optimization, food dishes, nutrients.

I. INTRODUCCIÓN

Los resultados de la Encuesta Morbilidad y Estado Nutricional de Niños y Madres del 2012 realizado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI [1], indican que en el Perú la desnutrición crónica en los niños menores de 5 años alcanzó el 18,1%, lo que representa una disminución de 1,4 puntos porcentuales con relación al año 2011.

Los mayores índices de desnutrición crónica se registran en Huancavelica con 51,3%, en Cajamarca con 36,1%, Loreto con 32,3%, Apurímac con 32,2%, Ayacucho y Amazonas con 30,3% cada uno. Por lo que vemos que existen grandes porcentajes de desnutrición en las zonas más alejadas de la capital.

Si bien es cierto, este porcentaje total ha ido disminuyendo en los últimos años, aún la cifra es alarmante considerando que la desnutrición está directamente relacionada con la salud y con la vida. Estas cifras son aún más considerables en las zonas más apartadas de la capital, llegando así a un alarmante 51,3% en la provincia de Huancavelica.

Según la National Heart, Lung, and Blood Institute, NHLBI [2], una alimentación deficiente en hierro, ácido fólico

(folato) o vitamina B12 puede impedirle al cuerpo producir suficientes glóbulos rojos. El cuerpo también necesita cantidades pequeñas de vitamina C, riboflavina y cobre para producir glóbulos rojos. En esta línea, como se mencionó una de las consecuencias de la mala alimentación es la anemia que suele presentarse niños, adolescentes y personas mayores, siendo los niños los más afectados.

La Organización Mundial de Salud (OMS) ha catalogado la anemia como un problema de salud pública severa cuando está por encima de 40%. Puno tuvo en el 2012 un 74% (66,662) de niños menores de tres años con anemia, mientras que Lima registra un 35% (182 mil niños) [3].

Los impactos de una mala alimentación son causantes de una desnutrición crónica provocada por el insuficiente aporte de calorías y proteínas. Asimismo, otro impacto considerable es la aparición de anemia en las personas. Estas causas pueden ocasionar discapacidad mental y física a mediano y largo plazo.

Finalmente, la presente investigación desea proveer una gama de platos alimenticios que abarquen la cantidad de calorías, proteínas y demás nutrientes necesarios para que una persona y, en general, una familia de bajos recursos pueda satisfacer y zacear sus necesidades alimenticias minimizando los costos de los insumos y, por lo tanto, de preparación.

II. DESARROLLO DEL MODELO

2.1. Programación Entera Mixta

Según [4], [6] y [9] un problema de programación lineal, lo que se desea es asignar de la mejor manera posible, es decir, de forma óptima, los diferentes recursos limitados a actividades que compiten entre sí por ellos.

La programación lineal utiliza un modelo matemático para describir el problema. El término lineal significa que todas las funciones matemáticas del modelo deben ser funciones lineales. Asimismo, la palabra programación no tiene un concepto computacional, sino tiene un significado de planeación. Por lo tanto, la programación lineal involucra la planeación de actividades para obtener un resultado óptimo;

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.114>
ISBN: 978-0-9822896-9-3
ISSN: 2414-6390

14th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Engineering Innovations for Global Sustainability”, 20-22 July 2016, San José, Costa Rica.

esto es, el resultado que mejor alcance la meta especificada de acuerdo con el modelo matemático entre todas las alternativas factibles.

Según [4], [6] y [9], la formulación de un problema lineal, de manera genérica, debe estar estructurada de la siguiente forma:

Maximizar (o Minimizar)

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Sujeto a las condiciones o restricciones:

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

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

...

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{in}x_n \{ \leq, =, \geq \} b_i$$

...

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

En donde x_1, x_2, \dots, x_n son variables,

Además,

$$c_1, c_2, \dots, c_n; a_{11}, a_{12}, \dots, a_{m1}, \dots, a_{mn}; b_1, b_2, \dots, b_m$$

son constantes y en cada condición se asume uno de los signos $\leq, =, \geq$.

Como se mencionó, la función objetivo $z = z(x_1, \dots, x_n)$ como las funciones que definen los miembros izquierdos de las condiciones o restricciones son funciones lineales de las variables x_1, x_2, \dots, x_n . Además, las constantes c_1, c_2, \dots, c_n de la función objetivo se les suele denominar costos o coeficientes de costos.

Se llaman solución factible a cualquier colección de valores x_1, x_2, \dots, x_n que cumplan con todas las restricciones. El problema consiste en determinar el mayor Z_{max} (o menor Z_{min}) de los valores de la función objetivo $z = z(x_1, \dots, x_n)$, evaluada sobre todas las soluciones factibles y, finalmente, indicar una solución óptima.

En muchos ejemplos prácticos las variables de decisión solo tiene sentido real si su valor es entero. Por ejemplo, en el caso de asignar a diversas actividades cantidades enteras como el número de personas, maquinas o vehículos. Si el modelo está compuesto, únicamente, por variables enteras entonces se trata de un problema de programación entera (PE). El modelo de programación entera es similar al de programación lineal;

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.114>
 ISBN: 978-0-9822896-9-3
 ISSN: 2414-6390

14th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: "Engineering Innovations for Global Sustainability", 20-22 July 2016, San José, Costa Rica.

es decir, siguen la misma estructura. Si solo es necesario que algunas variables tengan valores enteros, entonces el modelo se conoce como programación entera mixta (PEM).

En conclusión un problema de programación mixta es aquel en el que solo algunas de las variables tienen que ser números enteros. Estos problemas permiten la combinación de variables enteras, binarias y reales.

La aplicación de modelo de programación entera mixta aplicado a nuestro caso: "obtención de platos alimenticios al mínimo costo", permite proveer una gama de platos alimenticios que abarquen la cantidad de calorías, proteínas y demás nutrientes necesarios para que una persona pueda satisfacer sus necesidades alimenticias minimizando los costos de los insumos.

2.2. Problemática

Según la OMS (Organización mundial de la Salud), la nutrición es la ingesta de alimentos en relación con las necesidades dietéticas del organismo. Una buena nutrición (una dieta suficiente y equilibrada combinada con el ejercicio físico regular) es un elemento fundamental de la buena salud. Una mala nutrición puede reducir la inmunidad, aumentar la vulnerabilidad a las enfermedades, alterar el desarrollo físico y mental, y reducir la productividad.

Para esta investigación, se tomará en cuenta un artículo publicado en iaicos.org [10] por la Dra. Nelsy de Restrepo. En este artículo menciona que son varios los elementos que el cuerpo necesita y los estudiosos de la materia los han enmarcado en siete grupos básicos.

Para que el ser humano tenga un desarrollo perfecto y el organismo funcione bien deben estar estos siete elementos en su alimentación diaria. Si falta alguno de estos elementos el organismo se deteriora o daña muy pronto. Se puede ingerir seis elementos en abundancia pero seguramente que aquel que le falta le va a ocasionar problemas. Estos siete elementos son: proteínas, grasas, carbohidratos, minerales, vitaminas, fibra y agua.

Para obtener esta información, fue necesario tener una fuente fidedigna que nos indique cual es la cantidad exacta que nutrientes que se necesitan. Es por eso, que se consultó en la página de la FAO (Food and Agriculture Organization) o mejor conocido como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [11].

A continuación, se muestra el siguiente cuadro donde se muestra las cantidades de nutrientes que una persona necesita en su día a día.

Tabla 1: Cantidad de nutrientes por persona, según la FAO

Nutriente	Unidad	Cantidad
Proteína	(g)	50
Vitamina A	(ug)	800
Vitamina D	(ug)	53
Vitamina C	(mg)	60
Tiamina	(mg)	1,4
Riboflavina	(mg)	1,6
Niacina	(mg)	18
Vitamina B6	(mg)	2
Folacina	(ug)	200
Vitamina B12	(ug)	1
Calcio	(mg)	800
Magnesio	(mg)	300
Hierro	(mg)	14
Zinc	(mg)	15
Yodo	(ug)	15020

Fuente: <www.fao.org/docrep/w8612s/W8612s05.htm#TopOfPage>
Elaboración propia

Esta investigación se hará de manera independiente para cada región y departamento del Perú; ya que, cada región del País posee recursos (tubérculos, insumos, vegetales, frutas y otros) que son propias de la zona. De esta manera, se obtendrá una alimentación balanceada gracias a los nutrientes y complementos necesarios que brindan los alimentos a un bajo costo.

Por otro lado, se analizará y evaluará los índices de desnutrición y pobreza en los diferentes departamentos y regiones del país en estudio. Este análisis nos servirá para localizar donde están las zonas que se encuentran con porcentajes de mayor necesidad. En primer lugar, se mostrará una tabla elaborada según INEI [1] donde nos indica las tasas de desnutrición crónica de niños menores de 5 años, según el ámbito geográfico de los años 2007 hasta el 2013. Como observaremos este porcentaje ha ido disminuyendo con los años; sin embargo, estas tasas aún son demasiadas altas. Asimismo, se observará zonas donde las tasas son más alarmantes, sobre todo en las regiones de la sierra y selva.

A continuación, se observa cómo ha evolucionado el porcentaje de desnutrición en el Perú:

Tabla 2: Porcentajes de desnutrición 2007-2013

Año	2007 a/	2009	2009-2010 b/	2010-2011 c/	2011-2012 d/	2012-2013 e/
Total	28.5	23.8	23.2	19.5	18.1	17.5

Fuente de internet: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Encuesta Demográfica y de Salud Familiar.

Para observar mejor el comportamiento de los porcentajes de desnutrición a lo largo de los años plasmaremos estos cambios en la figura 1:

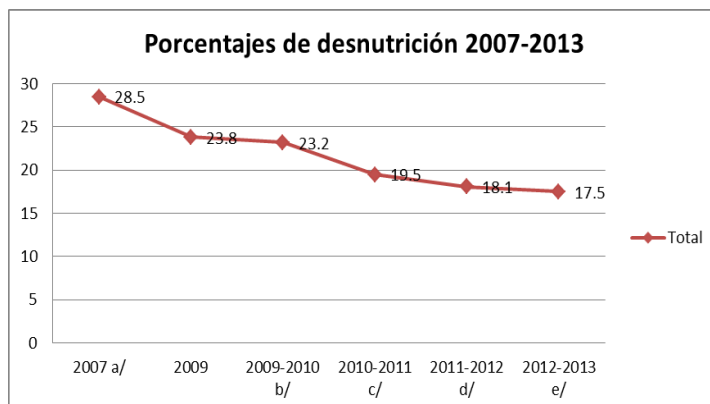


Figura 1: Porcentajes de desnutrición 2007-2013

Fuente de internet: Instituto Nacional de Estadística e Informática – Encuesta Demográfica y de Salud Familiar.

Si bien es cierto los porcentajes de desnutrición han ido disminuyendo con el pasar de los años, pensar en un 17.5% de desnutrición a nivel Nacional aún es una tasa muy alta. Sobre todo si tenemos en cuenta que este porcentaje son teniendo en cuenta niños menores de 5 años.

Asimismo, para realizar un mejor alcance en esta investigación es importante determinar que regiones de nuestro País tienen en conjunto las mayores tasas desnutrición y como han evolucionado a lo largo de estos 6 años:

Tabla 3: Porcentaje de desnutrición por región 2007-2013

Región natural	2007 a/	2009	2009-2010 b/	2010-2011 c/	2011-2012 d/	2012-2013 e/
Lima Metropolitana	10.5	7.5	8.6	6.8	4.1	4.1
Resto de Costa	14.5	13	14.9	9.5	11.9	12.5
Sierra	42.4	37.5	34.4	30.7	29.3	28.7
Selva	34.1	28.1	28.5	28.2	21.6	24.1

Fuente de internet: Instituto Nacional de Estadística e Informática – Encuesta Demográfica y de Salud Familiar.

Para observar mejor la evolución de los porcentajes de desnutrición a lo largo de los años por región, plasmaremos este comportamiento en el siguiente gráfico (figura 2):

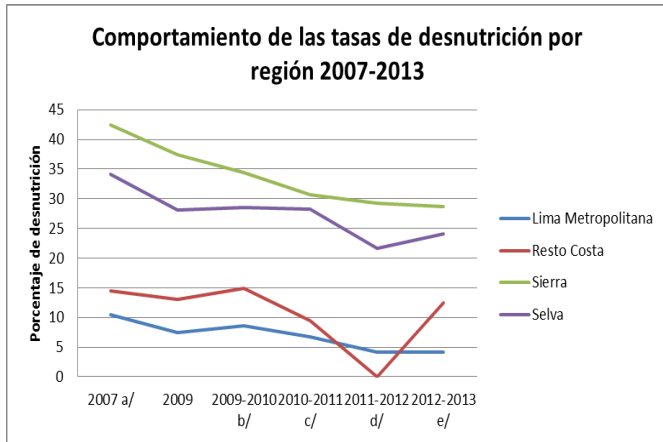


Figura 2: Comportamiento de las tasas de desnutrición por región 2007-2013

Elaboración propia

De igual manera, observamos que en general el comportamiento de las tasas de desnutrición ha disminuido con el pasar de los años. Otro punto importante es indicar que la región de la sierra es la que mayores porcentaje de desnutrición, además que siempre ha estado a la cabeza de todas las otras regiones. Por otro lado, las regiones de la selva, el resto de la costa y lima metropolitana, se encuentran en segundo, tercer y cuarto lugar, respectivamente.

Finalmente, para lograr una mejor percepción de la realidad de los niveles de desnutrición se realizará un análisis detallado de cada departamento de nuestro país, de esta manera reconoceremos que partes de nuestro litoral se encuentran en situaciones alarmantes.

Para esto utilizaremos los porcentajes de desnutrición más reciente que nos brinda el INEI; es decir, el periodo 2012-2013: A continuación se presenta en la figura 3, el grafico donde se podrá visualizar cuales son los departamentos (el Perú está dividido en 24 departamentos geográficos), que tienen un mayor tasa de desnutrición.

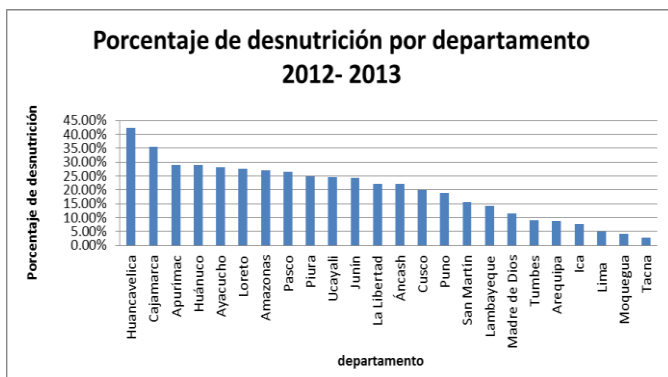


Figura 3: Porcentaje de desnutrición por departamento 2012-2013

Elaboración propia

A continuación se hará una clasificación ABC en los departamentos según sus tasas de desnutrición, donde tendremos las siguientes consideraciones:

Tabla 4: Criterio de clasificación ABC de los estados de desnutrición

Clasificación	Criterio	Descripción
A	>30 %	Situación de muy alarmante de desnutrición
B	≥ 20 % y <30%	Situación de alarmante de desnutrición
C	< 20%	Situación de alerta de desnutrición

Tabla 5: Clasificación ABC de desnutrición por departamento

Clasificación	Departamento
A	Huancavelica
	Cajamarca
B	Apurímac
	Huánuco
	Ayacucho
	Loreto
	Amazonas
	Pasco
	Piura
	Ucayali
	Junín
	La Libertad
	Ancash
	Cusco
	C
San Martín	
Lambayeque	
Madre de Dios	
Tumbes	
Arequipa	
Ica	
Lima	
Moquegua	
Tacna	

Se observa que los departamentos con mayores porcentajes de niños en estado de desnutrición son Huancavelica y Cajamarca en un estado muy alarmante. Asimismo, se observa que la mayoría de departamentos con índices alarmantes se encuentran en la región de la sierra.

Para tener una mejor visión de esta clasificación y con el intento de poder comprender mejor la distribución a lo largo de nuestro país de los índices que estamos analizando se realizó una clusterización de los departamentos del Perú según los porcentajes de desnutrición y se representarán gráficamente en el mapa de nuestro litoral en la figura 4.

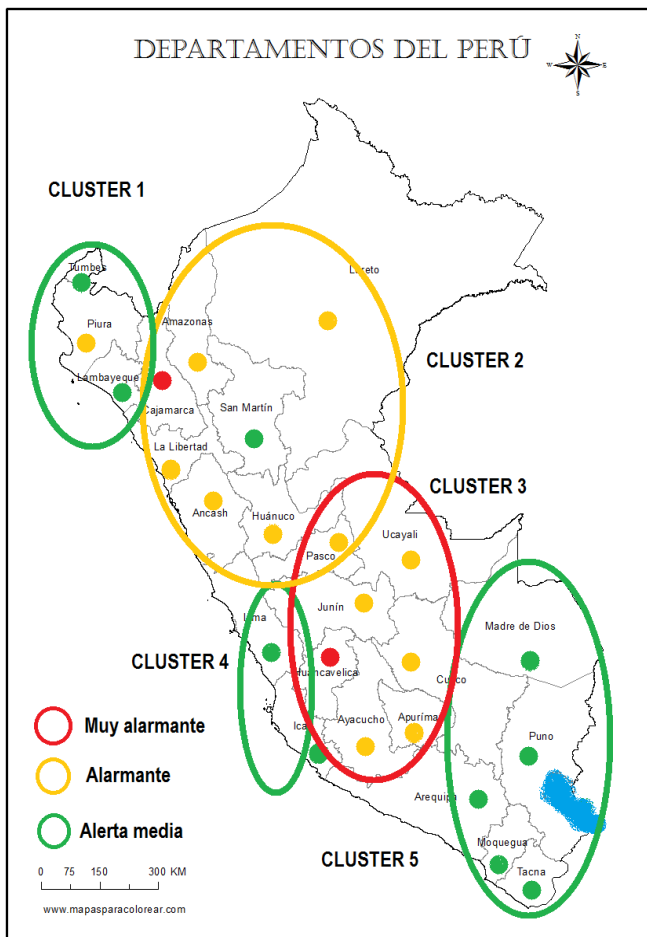


Figura 4: Mapa del Perú- Clúster y Leyenda

Elaboración propia

Luego de realizar la clusterización hemos podido identificar 5 grupos o clúster que se agrupan por tener un comportamiento similar por su porcentaje de desnutrición presente en niños menores a 5 años.

El clúster 1 que está comprendido por los departamentos de Tumbes, Piura y Lambayeque; se encuentra ubicado en la zona nor-oeste de nuestro país. Los tres departamentos se encuentran en la costa se encuentran en una situación de alerta media.

El clúster 2 que comprende los departamentos de Amazonas, Loreto, Cajamarca, La Libertad, Ancash, San Martín Y Huánuco comprende desde la costa norte hasta la zona nor-este del Perú y se encuentra en una situación alarmante; ya que, el conjunto de estos departamentos tienen un comportamiento similar en los índices de desnutrición.

El clúster 3 que se encuentra en la sierra central y parte de la selva y ceja selva del Perú comprende los departamentos de Pasco, Junín, Ucayali, Huancavelica, Ayacucho y Cusco se encuentra en una situación muy alarmante de desnutrición; ya que, contiene los mayores porcentajes de desnutrición. Por lo

tanto, debería ser la primera zona en ser atendida para combatir esta problemática.

En el clúster 4 que está comprendido por Lima, la capital del Perú, e Ica ambos ubicados en la costa de nuestro litoral cuentan con una tasa baja de desnutrición; debido a que, en esta zona se encuentra el mayor foco de desarrollo e inversión del Perú.

Finalmente, el clúster 5 que se encuentra ubicada en la zona sur-este del Perú y comprende los departamentos de Madre de Dios, Puno, Arequipa, Moquegua y Tacna cuentan con la menor tasa de desnutrición del todo el País. Por este motivo, este clúster es catalogado como una zona de Alerta media.

En conclusión, se tiene dividido el Perú en cinco clústeres de los cuales los números 1, 4 y 5 son catalogados como zonas de alerta media y estos deberían ser los últimos en ser combatidos. Por otro lado, el clúster número 2 que comprenden una gran cantidad de departamentos es considerada como situación alarmante de desnutrición y debería ser atendida con una urgencia alta. Sin embargo, el clúster número 3 es que cuenta con una gran cantidad de departamentos con un porcentaje alto de desnutrición. Es por este motivo que este clúster es rotulado como una zona con una situación muy alarmante de desnutrición y debería ser atendido con suma prioridad; ya que, se encuentra en un estado de emergencia.

A continuación, se mostrará una tabla, según INEI [1] donde nos indica los porcentajes de la población en situación de pobreza extrema monetaria, según ámbito geográfico, 2004 – 2013.

A continuación, observamos cómo ha evolucionado el porcentaje de pobreza extrema del Perú:

Tabla 6: Porcentajes de pobreza extrema 2004-2013

Ámbito Geográfico	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Total	16.4	15.8	13.8	11.2	10.9	9.5	7.6	6.3	6.0	4.7

Fuente de internet: Instituto Nacional de Estadística e Informática Encuesta Nacional de Hogares

Como observaremos este porcentaje ha ido disminuyendo con el pasar de los años; esto se debe a que hay una mejora en la situación económica de nuestro país. No obstante, se observará aun zonas donde los porcentajes son significativos, sobre todo en las regiones de la sierra y selva de nuestro litoral.

Para observar mejor el comportamiento de los porcentajes de pobreza extrema a lo largo de los años, plasmaremos estas variaciones en el siguiente gráfico:



Figura 5: Evolución de la pobreza extrema en Perú
Elaboración propia

Como se observa en la figura 5, existe una tendencia de disminución en el porcentaje total de la situación de pobreza extrema de nuestro País. Sin embargo, se debe profundizar más, para hallar son los lugares donde existe la presencia de pobreza extrema. Este análisis se realizará; ya que, existe una relación entre pobreza extrema y desnutrición.

A continuación, se observará un cuadro donde se muestra las variaciones de los porcentajes de pobreza extrema, según cada región del Perú:

Tabla 7: Comportamiento de los porcentajes de pobreza extrema por región

Ámbito Geográfico	2004	005	006	007	008	009	010	011	2012	2013
Costa	4.6	.1	.6	.9	.9	.5	.5	.2	1.1	0.8
Sierra	32.1	0.8	8.1	4.8	3.4	0.1	5.8	3.8	13.3	10.5
Selva	23.6	4.8	2.5	4.6	5.5	5.8	2.5	.0	8.2	6.9

Fuente de internet: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Encuesta Nacional de Hogares

Para comprender mejor el comportamiento de los datos se muestra en siguiente gráfico de la figura 6:

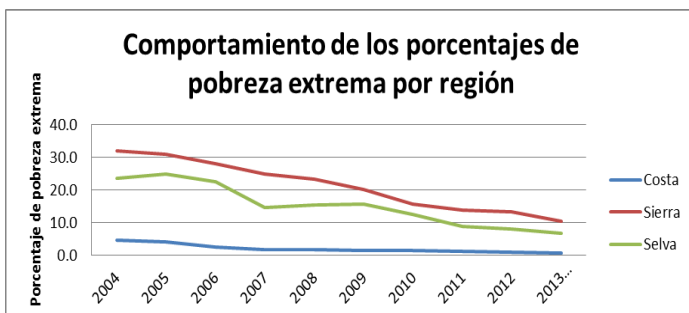


Figura 6: Comportamiento de los porcentajes de pobreza extrema por región

Observamos que en general el comportamiento de las tasas de pobreza extrema ha disminuido con el pasar de los años. Otro punto importante es indicar que, nuevamente, la región de la sierra es la que mayores porcentaje de pobreza, además que siempre ha estado por encima de todas las otras regiones. Por otro lado, las regiones de la selva y de la costa, se encuentran en segundo y tercer, respectivamente.

2.3. Modelo

Se desarrollará un modelo matemático de programación entera. En nuestro caso será aplicado a la “obtención de platos alimenticios al mínimo costo”. Esto nos permitirá proveer una gama de platos alimenticios que abarquen la cantidad de calorías, proteínas y demás nutrientes necesarios para que una familia de bajos recursos pueda satisfacer y zacear sus necesidades alimenticias minimizando los costos de preparación.

Para realizar este modelo necesitaremos como datos de entrada como la cantidad de nutrientes que necesita una persona, según la FAO; ya que, estos datos servirán para formular parte de las restricciones. Además se utilizarán otros datos de entradas como costos, aportes de nutrientes por alimento, entre otros.

En la función objetivo lo que se desea es minimizar los costos de preparación de los platos alimenticios; mientras que en las restricciones lo que desea lograr es cumplir con los requerimientos mínimos que necesita una persona para vivir, asimismo, sin excederse los en el consumo de algunos nutrientes como calorías o carbohidratos.

En esta línea, estos platos alimenticios se dividen en tres grupos los cuales son los siguientes: desayuno, almuerzo y cena. Cada grupo tiene sus particularidades al momento de formular las restricciones.

Finalmente, el modelo que se presentará a continuación es genérico y por lo tanto algunos de los alcances y restricciones pueden variar según las necesidades y condiciones donde se desea aplicar dicho modelo; por ejemplo, la elección de la región, zona o país.

Variable de decisión:

Las variables de decisión son valores binarios; es decir, que sólo pueden tomar valores 0 ó 1. Estas variables binarias son las siguientes:

VARIABLES DE DECISIÓN

X_{ij} = Decisión de tomar el plato del desayuno
número i del día j

donde: $i = 1, \dots, m$ & $j = 1, \dots, e$

Y_{ij} = Decisión de tomar el plato del almuerzo
número i del día j

donde: $i = 1, \dots, n$ & $j = 1, \dots, e$

Z_{ij} = Decisión de tomar el plato de la cena
número i del día j

donde: $i = 1, \dots, k$ & $j = 1, \dots, e$

Como se mencionó en la introducción de este capítulo los platos alimenticios se dividen en 3 grandes grupos. Y la decisión de tomar uno u otro plato alimenticio en cierto día “ j ” es tomada según las restricciones y sus particularidades con cada grupo de platos.

Función objetivo:

En la función objetivo lo que busca es reducir los costos en la utilización de los platos alimenticios tanto en el desayuno, almuerzo y cena. La función objetivo es la siguiente:

Como se observa que existe un costo fijo específico para cada

FUNCIÓN OBJETIVO

$$MIN \quad Z = \sum_{j=1}^e \sum_{i=1}^m X_{ij} A_i + \sum_{j=1}^e \sum_{i=1}^n Y_{ij} B_i + \sum_{j=1}^e \sum_{i=1}^k Z_{ij} C_i$$

Donde:

A_i = Costo del plato número i del desayuno

donde: $i = 1, \dots, m$

B_i = Costo del plato número i del almuerzo

donde: $i = 1, \dots, n$

C_i = Costo del plato número i del desayuno

donde: $i = 1, \dots, k$

plato alimenticio, el cual pertenece a uno de los grupos ya mencionados.

Restricciones:

Para la formulación de las restricciones se tendrán en consideración varios puntos, en los cuales se limitan las condiciones del problema planteado, así como el alcance del modelo matemático.

Este modelo es genérico y por lo tanto algunas de las restricciones pueden variar según las necesidades y las condiciones por las que se desea aplicar dicho modelo. Sin embargo, hay otras restricciones que no se pueden hacer variar; ya que, son condiciones críticas que son delimitadas por organizaciones o fuentes que determinan dichos valores. Por ejemplo; los nutrientes mínimos y máximos que deben obtener las personas en un día para que se considere una alimentación saludable.

En el primer grupo de restricciones, como se mencionó en el párrafo anterior, lo que se busca es limitar los nutrientes mínimos y máximos que puede aportar cada alimento durante el día.

RESTRICCIONES :

Restricciones del límite mínimo y máximo del nutriente k para alimentos del desayuno:

$$N \min_k \leq X_{ij} D_{ki} \leq N \max_k$$

Donde:

D_{ki} = Cantidad del nutriente k en el plato i

donde: $i = 1, \dots, m$ & $k = 1, \dots, 17$

$N \min_k$ = mínima cantidad del nutriente k que debe estar presente en el alimento del desayuno

donde: $k = 1, \dots, 17$

$N \max_k$ = máxima cantidad del nutriente k que debe estar presente en el alimento del desayuno

donde: $k = 1, \dots, 17$

Restricciones del límite mínimo y máximo del nutriente k para alimentos del almuerzo:

$$M \min_k \leq Y_{ij} E_{ki} \leq M \max_k$$

Donde:

E_{ki} = Cantidad del nutriente k en el plato i

donde: $i = 1, \dots, n$ & $k = 1, \dots, 17$

$M \min_k$ = mínima cantidad del nutriente k que debe estar presente en el alimento del almuerzo

donde: $k = 1, \dots, 17$

$M \max_k$ = máxima cantidad del nutriente k que debe estar presente en el alimento del almuerzo

donde: $k = 1, \dots, 17$

Restricciones del límite mínimo y máximo del nutriente k para alimentos de la cena

$$O \min_k \leq Z_{ij} F_{ki} \leq O \max_k$$

Donde:

F_{ki} = Cantidad del nutriente k en el plato i

donde: $i = 1, \dots, k$ & $k = 1, \dots, 17$

$O \min_k$ = mínima cantidad del nutriente k que debe estar presente en el alimento de la cena

donde: $k = 1, \dots, 17$

$O \max_k$ = máxima cantidad del nutriente k que debe estar presente en el alimento de la cena

donde: $k = 1, \dots, 17$

Se debe recalcar que los diecisiete nutrientes utilizados para el análisis de las restricciones son los siguientes:

$k = 1$: Proteínas, 2 : Vitamina A, 3 : Vitamina D, 4 : Vitamina C, 5 : Tiamina, 6 : Riboflavina, 7 : Niacina, 8 : Vitamina B6, 9 : Folacina, 10 : Vitamina B12, 11 : Calcio, 12 : Magnesio, 13 : Hierro, 14 : Zinc, 15 : Yodo, 16 : Caloría, 17 : Carbohidratos

Por otro lado, en las siguientes restricciones lo que se busca definir es la cantidad de días para los cuales se desea delimitar el alcance del modelo. Es decir, definiendo un "H" días como dato de entrada para las restricciones, se obtendrán "H" platos como valores de salida para el desayuno, almuerzo y cena. En nuestro modelo $H=15$.

Restricciones del número de platos necesarios para los días necesario en el modelo del desayuno

$$\sum_{j=1}^e \sum_{i=1}^m X_{ij} = H$$

Restricciones del número de platos necesarios para los días necesario en el modelo del almuerzo

$$\sum_{j=1}^e \sum_{i=1}^n Y_{ij} = H$$

Restricciones del número de platos necesarios para los días necesarios en el modelo de la cena

$$\sum_{j=1}^e \sum_{i=1}^n Z_{ij} = H$$

Donde:

H : Cantidad de días necesarios para el modelo

Se puede observar que en este grupo de restricciones ya se están definiendo la cantidad de platos alimenticios (desayuno, almuerzo y cena) que se desea obtener para una cierta cantidad de días. Sin embargo, aún no se define la variedad de platos y se restringen los costos.

A continuación, en el siguiente grupo de restricciones lo que busca es darle una exclusividad a cada plato; es decir, si un plato es seleccionado, este no se puede repetir durante todo los días que se desea delimitar en el alcance del modelo. Por lo tanto, cada plato es único como resultado.

Restricciones que ningún plato repetir en los 15 días en el desayuno

$$\sum_{j=1}^e X_{ij} \leq 1 \quad ; \quad \forall i \in [1, m]$$

Restricciones que ningún plato repetir en los en el almuerzo

$$\sum_{j=1}^e Y_{ij} \leq 1 \quad ; \quad \forall i \in [1, n]$$

Restricciones que ningún plato repetir en los en la cena

$$\sum_{j=1}^e Z_{ij} \leq 1 \quad ; \quad \forall i \in [1, k]$$

Asimismo, se debe restringir el costo diario de elaboración de los tres grupos de alimentos (desayuno, almuerzo y cena).

El motivo de esta restricción es para delimitar que el costo diario no se sobrepase a lo que una familia designa diariamente a la alimentación. De esta manera, se trata de equilibrar los costos de los tres principales platos del día.

Restricciones del total de costos por día de los tres platos

$$W \min \leq \sum_{i=1}^m X_{ij} + \sum_{i=1}^n Y_{ij} + \sum_{i=1}^k Z_{ij} \leq W \max \quad ; \quad \forall j \in [1, e]$$

Donde:

$W \min$ = costo mínimo que se puede gastar por un día en los tres platos

$W \max$ = costo máximo que se puede gastar por un día en los tres platos

Finalmente, se debe restringir el rango de existencia.

En estas restricciones lo que desea es determinar que las variables utilizadas en el modelo son del tipo binario.

Rango de existencia

$$X_{ij} = 0 \quad \text{ó} \quad 1$$

$$Y_{ij} = 0 \quad \text{ó} \quad 1$$

$$Z_{ij} = 0 \quad \text{ó} \quad 1$$

III. RESULTADOS

Finalmente, se debe presentar una lista de platos alimenticios para N días según sea el requerimiento. Esta lista debe considerar tanto el desayuno, como el almuerzo y la cena.

Como se observa ningún plato se repite; ya que, en las restricciones del modelo matemático, como se indicará más adelante, se da una exclusividad para cada plato por un tiempo definido.

Los resultados mostrados son ilustrativos, considerando que los platos de almuerzo y cena no se repiten.

Tabla 8: Resultados de platos alimenticios

DÍA/PLATO	DESAYUNO	ALMUERZO	CENA
DÍA 1	jugo de papaya y pan con queso	Estofado de res	Arroz con pollo
DÍA 2	jugo de papaya y pan con palta	Tallarines con pechuga	Alverjita picada
DÍA 3	jugo de papaya y pan con aceituna	Ají de gallina	Pollo al sillao
DÍA 4	jugo de papaya y pan con mantequilla	Tallarines con pollo	Aji de carne
DÍA 5	jugo de papaya y pan con camote	Estofado de pollo	locro de zapallo
DÍA 6	jugo de papaya y pan con huevo	Vainita saltadas/carne	pollo saltado
DÍA 7	jugo de piña y pan con queso	Mollejas saltadas	Lentejas/carne picada
DÍA 8	jugo de piña y pan con palta	Tallarines con carne	Croqueta de atún
...
DÍA N	desayuno N	ALMUERZO N	CENA N

Este modelo tiene un potencial crecimiento y se puede expandir aún más según otros requerimientos.

IV. CONCLUSIONES

Actualmente se tiene 4.7% de pobreza extrema, esto nos da un indicador que existen zonas en las que aún están en total abandono. Asimismo, existe una relación directamente proporcional entre pobreza extrema y la presencia de habitantes en estado de desnutrición. Las tasas de desnutrición y pobreza han ido disminuyendo a través de los años. Sin embargo, a la fecha exista un 17.5% de tasa de desnutrición en niños menores a cinco años.

Se dividió el Perú en cinco clústers de los cuales: El clúster número 3 es que cuenta con un porcentaje alto de desnutrición, por este motivo, este clúster es rotulado como zona de situación muy alarmante de desnutrición y debería ser atendido con suma prioridad, el clúster número 2 que

comprenden una gran cantidad departamentos es considerada como situación alarmante de desnutrición y debería ser atendida con una urgencia alta, los clusters números 1, 4 y 5 son catalogados como zonas de alerta media y estos deberían ser los últimos en ser combatidos.

Se desarrolló el modelo utilizando programación entera mixta y se tuvo en cuenta en cuenta los siguientes conceptos:

En la función objetivo lo que se desea es minimizar el costo de los platos alimenticios en el desayuno, almuerzo y cena durante una cantidad de días. Las restricciones son principalmente limitar los nutrientes mínimos y máximos, el costo diario de elaboración de los tres grupos de alimentos (desayuno, almuerzo y cena), la exclusividad de cada plato; es decir, si un plato es seleccionado, este no se puede repetir durante todo los días que se desea delimitar en el alcance del modelo.

Finalmente, el modelo matemático es genérico y por lo tanto algunos de los alcances y restricciones puede variar según las necesidades y condiciones donde se desea aplicar dicho modelo; por ejemplo, la elección de la región o zona del país influye en la elección de ciertos platos.

REFERENCIAS

- [1] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) - Dirección Nacional de Censos y Encuestas. "Morbilidad y Estado Nutricional de Niños y Madres" <www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/sociales>
- [2] National Heart, Lung, and Blood Institute (NHLBI) <<http://www.nhlbi.nih.gov>>
- [3] Diario Gestión del Perú <www.gestion.pe/economia/se-requieren-s-6000-millones-reducir-desnutricion-cronica-2080953>
- [4] Winston W. L. (2005), Investigación de operaciones: Aplicaciones y Algoritmos, Mexico: Thomson
- [5] Ballou, R (2004), Logística: Administración de la cadena de suministro. Naucalpan de Juárez : Pearson Educación.
- [6] Hillier F. S. / Lieberman G.J (2002) Investigación de operaciones, Mexico: McGraw-Hill.
- [7] Eppen, G., Gould, F., Schmidt, C., Moore, J. y Weatherford, L.(2000), Investigación de operaciones en la ciencia administrativa, Mexico: Prentice Hall.
- [8] Ross, S. M. (1999) Simulación, Mexico: Prentice Hall.
- [9] Taha, H (2012) Investigación de Operaciones, Novena edición. Editorial Pearson
- [10] Laicos.Org <<http://www.laicos.org/nutrientescuerponecesita.htm>>
- [11] FAO <www.fao.org/docrep/w8612s/W8612s05.htm#TopOfPage>

Autorización y renuncia

Wilmer Atoche, Juan Nolasco & Jonatán Rojas autorizan a LACCEI para publicar el escrito en las memorias de la conferencia. LACCEI o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que esta expresado en el escrito.