

# MODELAMIENTO DE LA ECONOMÍA DE UN PAÍS

Gustavo Lozano<sup>1</sup>, Miller Silva<sup>2</sup>, Victor Ponce<sup>3</sup>, Kevin Solano<sup>4</sup>, Nicks Lazaro<sup>5</sup>

*Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Ingeniería*

Email: glozanoi@uni.pe<sup>1</sup>, miller.silva.m@uni.pe<sup>2</sup>, victor.ponce.p@uni.pe<sup>3</sup>, elazaroc@uni.pe<sup>5</sup>

## Resumen

Las matemáticas son de gran importancia y ayuda para el progreso de muchas disciplinas, como por ejemplo la economía. El desarrollo de este método combina el uso de la teoría económica, el análisis estadístico y matemático. Introducir ciertas simplificaciones y supuestos para crear un modelo que ayudara a predecir los niveles de producción futuros de cada sector o industria, a fin de satisfacer las demandas futuras para diversos productos. La actividad económica en la región se divide en un número de segmentos o de sectores productivos. Cada sector agrupa actividades que tienen diferentes ritmos de consumo y producción de bienes. Parte de la producción de un sector (Output) puede ir al consumo (Input) de otro distinto sector. Esta información se recolecta en forma de una matriz. Los países poseen muchas industrias relevantes causando que se generan matrices muy grandes, encontrar la solución manualmente es muy ineficiente, por ello recurrimos al uso de computadores. Para poder confiar en los resultados de la máquina hacemos uso del **análisis numérico** encontrando los métodos adecuados para obtener la solución con menor error.

## Palabras Clave:

Análisis estadístico, Demanda futura, Sector industrial, Producción futura, Análisis numérico

## Abstract

Mathematics is of great importance and helps the progress of many disciplines, such as economics. The development of this method combines the use of economic theory, statistical and mathematical analysis. Economic activity in the region is divided into a number of segments or productive sectors. Each sector groups activities that have different rates of consumption and production of goods. Part of the production of a sector (Output) can go to the consumption (Input) of another different sector. This information is collected in the form of a matrix. Countries have a large number of industries, which generates very large matrices, finding the solution manually is very inefficient, therefore, we resort to the use of computers. To be able to trust the results of the machine, we make use of the **Numerical Analysis** finding the adequate methods to obtain the solution with less error.

## Keywords:

Statistical analysis, Future demand, Industrial sector, Future production, Numerical analysis

## 1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de comprender y ser capaz de manipular la economía de un país o una región, uno tiene que llegar a un cierto modelo basado en los diversos sectores de esta economía. El modelo de Leontief es un intento en esta dirección. Basado en la suposición de que cada industria en la economía tiene dos tipos de exigencias: la demanda externa (de fuera del sistema) y la demanda interna (demanda de una industria por otro en el mismo sistema), el modelo de Leontief representa la economía como un sistema de ecuaciones lineales. El modelo de Leontief fue inventado en los años 30 por el profesor Wassily Leontief [Fig 1](#) que desarrolló un modelo económico de la economía de Estados Unidos mediante su división en 500 sectores económicos. El 18 de octubre de 1973, el profesor Leontief fue galardonado con el Premio Nobel de economía por su esfuerzo.

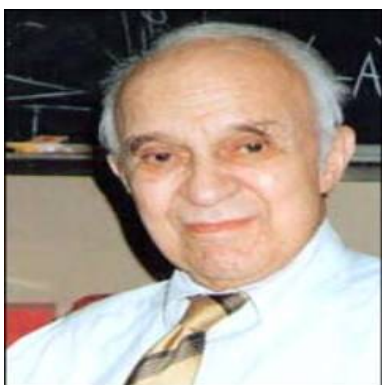


Fig1: Profesor Wassily Leontief

## 2. CONCEPTOS PREVIOS

Hay dos tipos de modelados de la economía que estableció Leontief: el modelo cerrado y el modelo abierto.

### ■ EL MODELO CERRADO DE LEONTIEF

: Considerar una economía que consiste en  $n$  industrias (o sectores)  $S_1, \dots, S_n$ . Eso significa que cada industria consume algunos de los bienes producidos por las otras industrias, incluso a sí misma (por ejemplo, una planta generadora de energía utiliza parte de su propia energía para la producción). Decimos que tal economía esta cerrada si satisface sus propias necesidades. Es decir, no hay mercancías que salgan o entren en el sistema. Sea  $m_{ij}$  el número de unidades producidas por la industria  $S_i$  y necesarias para producir una unidad de la industria  $S_j$ . Si  $p_k$  es el nivel de producción de la industria  $S_k$ , luego  $m_{ij}p_j$  representa el número de unidades producidas por la industria  $S_i$  y consumidas por la industria  $S_j$ . Entonces, el número total de unidades producidas por la industria  $S_i$  viene dado por:

$$m_{i1}p_1 + m_{i2}p_2 + \dots + m_{in}p_n$$

Para tener una economía equilibrada, la producción total de cada industria debe ser igual a su consumo total. Esto nos dará el siguiente sistema lineal:

$$\begin{array}{cccccc} m_{11}p_1 & + & m_{12}p_2 & + & \dots & + & m_{1n}p_n & = & p_1 \\ m_{21}p_1 & + & m_{22}p_2 & + & \dots & + & m_{2n}p_n & = & p_2 \\ \vdots & & \vdots & & & & \vdots & & \vdots \\ m_{n1}p_1 & + & m_{n2}p_2 & + & \dots & + & m_{nn}p_n & = & p_n \end{array}$$

Luego, la matriz  $A$  es:

$$A = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1n} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n1} & m_{n2} & \dots & m_{nn} \end{pmatrix}$$

Entonces nuestro sistema a resolver se puede escribir como  $AP = P$ , donde:

$$P = \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{pmatrix}$$

$A$  es denominada MATRIZ DE ENTRADA-SALIDA.

Luego estamos buscando un vector  $P$  que satisfaga  $AP = P$  y con componentes no negativos, al menos uno de los cuales sea positivo.

#### ■ EL MODELO ABIERTO DE LEONTIEF:

El primer modelo de Leontief trata el caso en el que no hay mercancías que ingresen a la economía, pero en realidad esto no sucede muy a menudo. Por lo general, una determinada economía tiene que satisfacer una demanda externa, por ejemplo, de organismos como los organismos gubernamentales. En este caso, sea  $d_i$  la demanda de la industria exterior  $S_i$ ,  $p_i$  y  $m_{ij}$  se definen como en el modelo cerrado. Luego tendremos lo siguiente:

$$p_i = m_{i1}p_1 + m_{i2}p_2 + \dots + m_{in}p_n + d_i$$

para cada  $i = 1, 2, \dots, n$ . Esto nos da el siguiente sistema lineal:  $P = AP + d$ , donde  $P$  y  $A$  son definidos como en el modelo cerrado y  $d$  es el vector de demanda:

$$d = \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_n \end{pmatrix}$$

La manera de obtener nuestro sistema lineal es:

$$\begin{aligned} P &= AP + d \Rightarrow P - AP = d \\ \Rightarrow (I - A)P &= d \end{aligned} \quad (1)$$

el cual sera el sistema a resolver.

Existen varios métodos para resolver un sistema de ecuaciones, pero entre los más conocidos tenemos:

- Método de Gauss
- Método Gauss-Jordan
- Eliminacion LU
- Grout
- Doolittle
- Factorizacion  $LDL^t$
- Factorizacion Cholesky
- Doolittle

Para entender mejor este modelo veamos el siguiente ejemplo:

**Ejemplo 0.1.** Considere una economía abierta con tres industrias: operación de minería de carbón, planta de generación de electricidad y una planta de fabricación de automóviles. Para producir \$1 de carbón, la operación minera debe comprar \$0.1 de su propia producción, \$0.30 de electricidad y \$0.1 de automóvil para su transporte. Para producir \$1 de electricidad, se requieren \$0.25 de carbón, \$0.4 de

electricidad y \$0.15 de automóvil. Finalmente, para producir \$1 en automóviles, la planta de fabricación de automóviles debe comprar \$0.2 de carbón, \$0.5 de electricidad y consumir \$0.1 de automóvil. Supongamos también que durante un período de una semana, la economía tiene una demanda exterior de \$50,000 en carbón, \$75,000 en electricidad y \$125,000 en autos. Encuentre el nivel de producción de cada una de las tres industrias en ese período de una semana para satisfacer exactamente las demandas internas y externas.

Solución:

Considere las siguientes variables:

1.  $p_1$  = nivel de producción para la industria minera de carbon (en dólares)
2.  $p_2$  = nivel de producción para la planta generadora de electricidad (en dólares)
3.  $p_3$  = nivel de producción para la planta de fabricación de automóviles (en dólares)

La matriz de entrada-salida de esta economía es

$$A = \begin{bmatrix} 0,1 & 0,25 & 0,2 \\ 0,3 & 0,4 & 0,5 \\ 0,1 & 0,15 & 0,1 \end{bmatrix}$$

y el vector demanda es

$$d = \begin{bmatrix} 50000 \\ 75000 \\ 125000 \end{bmatrix}$$

Por la ecuación (1) tenemos

$$\begin{bmatrix} 0,9 & -0,25 & -0,2 \\ -0,3 & 0,6 & -0,5 \\ -0,1 & -0,15 & 0,9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 50000 \\ 75000 \\ 125000 \end{bmatrix}$$

Resolviendo encontramos

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 229921,59 \\ 437795,27 \\ 237401,57 \end{bmatrix}$$

Por lo tanto, la producción total de la operación de extracción de carbón debe ser de \$ 229921.59, la producción total de la planta generadora de electricidad es de \$ 437795.27 y la producción total de la planta de manufactura automática es de \$ 237401.57.

En este trabajo vamos a trabajar con el modelo abierto ya que este se asemeja a la realidad.

### 3. ANÁLISIS

En la siguiente matriz  $A$  y  $d$  tenemos los datos(en dólares) del comportamiento económico de un sistema abierto de 20 industrias.

$$A = \begin{bmatrix} 8.044e-04 & 1.669e-03 & 4.170e-03 & 3.928e-03 & \cdots & 3.153e-03 & 5.045e-04 & 1.353e-03 & 6.993e-03 \\ 2.048e-03 & 7.271e-03 & 6.414e-04 & 6.193e-03 & \cdots & 4.091e-03 & 2.031e-03 & 6.798e-03 & 5.078e-03 \\ 5.876e-04 & 4.389e-03 & 4.607e-03 & 2.237e-03 & \cdots & 3.744e-04 & 6.261e-03 & 3.835e-03 & 1.422e-04 \\ 7.987e-03 & 7.052e-03 & 7.472e-03 & 1.674e-03 & \cdots & 4.936e-03 & 6.267e-03 & 2.933e-03 & 5.990e-03 \\ 5.914e-04 & 7.611e-03 & 1.827e-03 & 2.890e-03 & \cdots & 7.265e-03 & 3.967e-03 & 3.095e-03 & 4.744e-04 \\ 4.070e-03 & 7.271e-03 & 2.926e-03 & 1.864e-03 & \cdots & 1.831e-03 & 2.994e-03 & 4.758e-03 & 2.340e-03 \\ 7.882e-03 & 8.591e-04 & 5.286e-03 & 1.216e-03 & \cdots & 2.419e-03 & 2.708e-04 & 1.953e-03 & 5.705e-03 \\ 7.761e-03 & 2.171e-03 & 1.316e-03 & 3.811e-03 & \cdots & 4.890e-03 & 2.610e-03 & 6.996e-04 & 7.276e-03 \\ 7.714e-03 & 6.194e-03 & 3.245e-03 & 4.855e-03 & \cdots & 7.034e-03 & 4.625e-03 & 6.498e-03 & 7.099e-03 \\ 2.511e-03 & 7.621e-03 & 7.250e-03 & 2.333e-03 & \cdots & 3.545e-03 & 2.661e-04 & 6.252e-03 & 5.224e-03 \\ 5.056e-03 & 1.779e-03 & 6.979e-03 & 6.689e-03 & \cdots & 3.677e-03 & 6.965e-03 & 3.014e-03 & 9.938e-04 \\ 6.994e-03 & 6.318e-03 & 4.291e-03 & 7.513e-03 & \cdots & 6.652e-03 & 3.101e-03 & 4.142e-03 & 2.724e-03 \\ 4.726e-05 & 6.193e-03 & 6.583e-03 & 1.655e-03 & \cdots & 9.752e-04 & 2.899e-03 & 3.577e-03 & 3.878e-03 \\ 5.496e-03 & 5.674e-04 & 3.041e-03 & 2.151e-03 & \cdots & 1.711e-03 & 5.406e-03 & 1.981e-03 & 5.049e-03 \\ 7.232e-03 & 3.758e-03 & 5.223e-03 & 8.110e-04 & \cdots & 1.610e-04 & 1.489e-03 & 4.075e-03 & 4.193e-04 \\ 3.282e-03 & 5.994e-03 & 5.189e-03 & 3.354e-03 & \cdots & 6.442e-03 & 7.194e-03 & 9.282e-04 & 1.515e-03 \\ 3.072e-03 & 3.572e-03 & 4.395e-04 & 2.989e-03 & \cdots & 6.286e-03 & 1.064e-03 & 4.973e-04 & 6.255e-03 \\ 5.379e-03 & 3.309e-03 & 2.238e-04 & 2.024e-03 & \cdots & 5.046e-03 & 7.340e-03 & 5.431e-03 & 1.550e-03 \\ 5.467e-03 & 1.944e-03 & 4.022e-03 & 3.241e-03 & \cdots & 3.523e-03 & 4.799e-03 & 1.931e-03 & 1.059e-03 \\ 1.711e-04 & 3.533e-03 & 3.556e-03 & 4.758e-03 & \cdots & 3.618e-03 & 3.041e-03 & 4.272e-03 & 9.881e-04 \end{bmatrix}$$

$$d = \begin{bmatrix} 10000 \\ 99000 \\ 36000 \\ 97000 \\ 45000 \\ 61000 \\ 82000 \\ 74000 \\ 34000 \\ 51000 \\ 79000 \\ 62000 \\ 42000 \\ 28000 \\ 71000 \\ 52000 \\ 58000 \\ 33000 \\ 31000 \\ 31000 \end{bmatrix}$$

Donde  $a_{ij}$  es el dinero con el que la industria  $S_j$  compra productos a la industria  $S_i$  para producir \$1 de producto y  $d_i$  es la demanda exterior, de una semana, que tiene la industria  $S_i$ .

Nuestro objetivo es hallar el nivel de producción(en dólares) de cada una de las 20 industrias en ese

período de una semana para satisfacer exactamente las demandas internas y externas.

Ahora aplicando el modelo abierto de Leontief, nuestro sistema a resolver es

$$(I - A)P = d$$

donde  $p_i$  es la producción total(en dólares) de la industria  $S_i$ .

Como este sistema es de  $20 \times 20$  sería “imposible” resolverlo manualmente, para resolverlo debemos usar

métodos numéricos. En la siguiente tabla se muestra los algoritmos usados para resolver la ecuación, con sus respectivos márgenes de error y su tiempo de demora.

Método	Solución	Error	Tiempo de ejecución(s)
Eliminación Gaussiana	$X_1$	[1.1986963639959941e-16, 1.8024396607832387e-16]	0.0990672112
Gauss Jordan	$X_2$	[3.5960890919879824e-16, 5.4073189823497171e-16]	0.0038716793
Eliminacion LU	$X_3$	[1.1986963639959941e-16, 1.8024396607832387e-16]	0.0049393177
Factorizacion LDLt	$X_4$	[0.044737253089200492, 0.067269912301779464]	0.0616235733
E. Gaussiana Pivote	$X_5$	[1.1986963639959941e-16, 1.8024396607832387e-16]	0.0038371086
Gauss Jordan Pivoteo	$X_6$	[3.5960890919879824e-16, 5.4073189823497171e-16]	0.0038352013
Eliminacion LU Pivoteo	$X_7$	[1.1986963639959941e-16, 1.8024396607832387e-16]	0.0048825741

De la tabla deducimos que el peor algoritmo para resolver nuestra ecuación es la Factorización  $LDL^t$  ya que este es el que tiene mayor rango de error y además es el que más demora en hallar la solución. También observamos que el mejor algoritmo es para resolver nuestro sistema es la eliminación Gaussiana con pivote ya que su rango de error y su tiempo de ejecución son mínimos. Así nuestra mejor solución numérica es  $P = X_5$ .

$$P = \begin{bmatrix} 14801,59007326 \\ 103454,86190732 \\ 41209,7906775 \\ 102905,97723502 \\ 49404,70709737 \\ 65486,74572585 \\ 85458,29205909 \\ 78393,30888981 \\ 39323,16891416 \\ 55453,09505371 \\ 83824,60273144 \\ 67779,49104967 \\ 45342,78535427 \\ 31478,9479484 \\ 74892,28078095 \\ 56541,07187277 \\ 62008,22170696 \\ 37154,56793729 \\ 35097,11057469 \\ 36007,01516564 \end{bmatrix}$$

#### 4. OBSERVACIONES

Se observó que para la misma matriz, los márgenes de error y el tiempo de ejecución de cada algoritmo pueden cambiar, y por ende el mejor método depende de la ecuación que se quiera resolver.

#### 5. CONCLUSIONES

Concluimos que para nuestra ecuación el mejor algoritmo es el de eliminación Gaussiana con pivoteo que

nos da como solución  $X_5$ , así para satisfacer exactamente las demandas internas y externas la industria  $S_1$  debe producir \$14801,59007326, la industria  $S_2$  \$103454,86190732 y así sucesivamente siguiendo el vector solución.

#### Agradecimientos

Los autores agradecen a las autoridades de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería por su apoyo.

- 
1. Jaan Kiusalaas, *Numerical Methods in Engineering with python*. Cambridge University Press **37** (2010).
  2. L.Héctor Juaréz V., *Análisis Numérico* Universidad

- Autónoma Metropolitana **2008** (2010).
3. W. Kincaid, D. Cheney, *Métodos Numéricos y Computación*, sexta edición. Cengage Learning, 300-305.