

## SELECCIÓN DE EQUIPOS DE LABORATORIOS A IMPORTAR MEDIANTE MODELACIÓN MATEMÁTICA PARA SERVICIOS DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES



<http://opn.to/a/z514a>

Geraldo Arbolaez Sarabia<sup>1</sup>, Yarisleydis Nicot Rochet<sup>1</sup>, Marisol Rosales Valdez<sup>1</sup>,  
Mario Alejandro Bejerano Jiménez<sup>2</sup>

**RESUMEN:** Los equipos de laboratorios son tecnologías de gran importancia en el sector científico y la apropiada selección de los mismos brinda exactitud, fiabilidad y puntualidad de los resultados, a la vez que garantiza un alto nivel en sus rendimientos. En el presente trabajo se propone un modelo matemático para la selección adecuada de los equipos de laboratorio, que se requieren importar en próximos años, para los servicios de caracterización de materiales que se realizan en el CIPIMM. El modelo matemático diseñado consiste en un conjunto de variables combinadas en funciones matemáticas, expresadas en restricciones que tiene la empresa para la selección de los equipos con el propósito de maximizar las utilidades adquiridas a través de los mismos. El modelo se obtuvo mediante la aplicación de métodos de programación lineal y entera, y la solución del modelo se realizó por el método Simplex, apoyado en el software Solver Pro como herramienta informática para lograr una mayor eficiencia en su aplicación. Mediante la ejecución del modelo matemático propuesto se logró optimizar la selección de equipos de laboratorio. Los equipos de laboratorio propuestos para la importación, garantizan las mayores ganancias posibles a obtener por valor de 889.0 Miles de Moneda Total al año. La adecuada selección de estos equipos a través del modelo ayuda a mejorar el rendimiento de la empresa porque la hace más eficiente y rentable, y produce una mayor satisfacción para los clientes, ya que sus objetivos están concentrados en las necesidades que ellos requieren.

**Palabras claves:** selección de equipos, modelo matemático, optimización.

**ABSTRACT:** Laboratory equipments are technologies of great importance in the scientific sector and the appropriate selection of them provides accuracy, reliability and timeliness of results, while ensuring a high level of performance. In the present work a mathematical model is proposed for the adequate selection of laboratory equipment, which is required to be imported in the coming years, for the characterization services of materials that are carried out in the CIPIMM. The mathematical model designed consists of a set of variables combined in mathematical functions, expressed in restrictions that the company has for the selection of equipment with the purpose of maximizing the profits acquired through them. The model was obtained through the application of linear and integer programming methods and the solution of the model was carried out using the Simplex method, supported by the Solver Pro software as a computing tool to achieve greater efficiency in its application. By means of the execution of the mathematical model proposed, it was possible to optimize the selection of laboratory equipment. The equipment of laboratories proposed for import, guarantee the highest possible profits to be obtained in the amount of 889.0 Thousands of Total Currency per year. The proper selection of these equipment through the model, helps improve the performance of the company, because it makes it more efficient and profitable and produces greater satisfaction for customers, since their objectives are focused on the needs they require.

**Keywords:** equipment selection, mathematical model, optimization.

Recibido: 19/05/2018

Aprobado en su forma original: 11/09/2018

<sup>1</sup>Centro Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica, CIPIMM, Carretera Varona No.12028, km 1½, Boyeros, La Habana, Cuba, CP 10800,

<sup>2</sup>Universidad de Ciencias Tecnológicas (CUJAE). Calle114, Marianao, La Habana, Cuba.  
[mbejeranoj@ind.cujae.edu.cu](mailto:mbejeranoj@ind.cujae.edu.cu)

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los avances tecnológicos y científicos han permitido el desarrollo de las sociedades; sin embargo, muy pocas personas saben que trabajar en un laboratorio químico no es cosa sencilla, pues es un espacio completamente equipado y preparado para la experimentación, la investigación y un sinnúmero de tareas científicas y tecnológicas que hacen de ese lugar un espacio muy especial, pues es ahí donde se llevan a cabo la mayoría de las fases del método científico y de la experimentación. Además, estos espacios cuentan con una gran cantidad de instrumentos, máquinas y materiales de laboratorios que son muy costosos y complicados de manejar. Saber cómo seleccionarlos e utilizarlos es tarea fundamental de los científicos, pues les serán de gran ayuda, principalmente en el desarrollo de investigaciones; pues de no saber para qué sirve cada instrumento y cuáles son los beneficios que les pueden brindar estos aparatos, puede convertirse en una debilidad que podría costarle el trabajo ([Marketing, 2016](#)).

Algunas empresas y organizaciones plantean que el único camino hacia el progreso económico y social está basado en la adquisición permanente de equipamiento tecnológico que pueda ayudar a mejorar el rendimiento de la empresa haciéndola más eficiente y rentable mediante el reemplazo de la mano de obra y la permanente redefinición de las funciones laborales en toda la empresa ([Real, 2015](#)).

Los equipos de laboratorios son tecnologías de gran importancia para los Centros de Investigaciones que lo utilizan, ya que posibilitan los experimentos, los controles de procesos y los controles de calidad. Medidores electrónicos o aparatos de vacío son las herramientas de trabajo más importantes en la tecnología de laboratorios. El sector científico de los equipos de laboratorio sería impensable sin estos equipos. Aparatos de análisis de alta calidad, equipos de investigación o dispositivos de laboratorios han sido desarrollados para el uso profesional y especialmente para la tecnología de laboratorios ([Equipos de laboratorio, 2018](#)).

El CIPIMM es una empresa que desde su fundación ha ejecutado importantes inversiones

de equipos de laboratorios, vinculadas al desarrollo de las investigaciones científicas que efectúa y los servicios de caracterización de materiales que realiza. En la última década el Centro ha invertido aproximadamente 657.0 Miles de Moneda Total (MMT) en importaciones de equipos de laboratorios para el Departamento de Caracterización de Materiales (DCM), en función de las investigaciones científicas y técnicas que desarrolla. Para esta inversión el Centro había planificado, obtener un Tasa Interna de Retorno (TIR) de 35.4% del rendimiento de la inversión y un Valor Actual Neto (VAN) de 2,238.8 (MMT) al cabo de los 10 años de explotación de los equipos. En la actualidad se ha demostrado que el rendimiento de estos equipos no se ha comportado de acuerdo a la planificación proyectada. Se debe a que la selección de los equipos a adquirir no fue destinada a la importación de equipos claves para realizar las investigaciones y los equipos que fueron seleccionados, no han sido productivos en relación a los resultados que se esperaban. Los equipos debían trabajar en estos últimos 10 años un promedio de 8 horas diarias y hasta la fecha solo han trabajado aproximadamente 2 horas diarias. El VAN de la inversión al cabo de los 10 años de explotación es solamente de 684.0 (MMT) y existe una diferencia de 1,554.8 MMT que se ha dejado de obtener, debido a la mala selección del equipamiento alcanzado.

Por tal razón es que el tema de trabajo radica en un “Modelo matemático para la selección de equipos de laboratorios a importar en el DCM” como solución a la problemática existente y encontrar la solución factible para resolver el modelo diseñado.

El Objetivo de investigación consiste en Diseñar un modelo matemático para la selección de equipos de laboratorios a importar en próximos años.

Objetivos específicos:

1. Crear un modelo matemático para la selección de equipos de laboratorios a importar, mediante los métodos de programación lineal y entera.
2. Hallar la solución factible al modelo matemático planteado, mediante el método Simplex.

## MATERIALES Y METODOS

Métodos de investigaciones directas de programación lineal: El término programación lineal se relaciona con un numeroso e importante grupo de problemas de optimización que implican funciones objetivo lineales sujetas a restricciones lineales. Los métodos de investigación directa de programación lineal son tan eficaces y útiles que en el curso normal de la actividad industrial se resuelven problemas que implican hasta miles de variables. El cuello de botella de su solución no reside en los procedimientos matemáticos utilizados para ello, pues son muy potentes y precisos, sino más bien en la obtención y puesta al día de los datos tecnológicos y económicos requeridos para definir el problema de optimización y en la transformación de éste a una forma matemática compatible con la programación lineal ([Serrano, 2001](#)).

Métodos de investigaciones directas de programación entera: Programación entera es el nombre que recibe un conjunto de técnicas disponibles para encontrar la mejor solución entera posible para un problema de programación lineal. La diferencia entre un modelo lineal y uno lineal entero, es la restricción de que algunas o todas las variables deben ser enteras. Es decir, el modelo entero lineal presenta además de las limitantes del modelo lineal la que corresponde a la integridad ([Yáñez, 2016](#)).

Método Simplex: Es un método iterativo que permite ir mejorando la solución en cada paso. La razón matemática de esta mejora radica en que el método consiste en caminar del vértice de un poliedro a un vértice vecino de manera que aumente o disminuya (según el contexto de la función objetivo, sea maximizar o minimizar), dado que el número de vértices que presenta un poliedro solución es finito siempre se hallará solución ([López, 2016](#)).

Solver Pro: Es una herramienta informática (Software) que permite calcular la solución óptima de un modelo matemático de programación lineal y entera, mediante la aplicación del método SIMPLEX.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Restricciones del modelo matemático para la selección de los equipos de laboratorios a importar

1. El objetivo del Centro es maximizar las ganancias anuales que se obtienen con los servicios brindados con los equipos de laboratorio que se pretenden importar.
2. El valor total de los equipos de laboratorio no puede sobrepasar los 160.0 MMT, porque fue el presupuesto asignado por el Grupo Empresarial para realizar esta compra.
3. Con la estufa de secado se obtienen ingresos de 62.0 MMT, que contribuyen a brindar servicios a otros proyectos. Es obligatorio para el DCM comprar 1 estufa porque no tiene disponible en estos momentos.
4. Con los servicios brindados con el horno mufla se obtienen 80 MMT y son necesarias para el Centro porque se disponen de hornos muflas con muchos años de explotación y las capacidades actuales no son suficientes para el volumen de muestras que se reciben. El DCM necesita al menos 1 horno mufla y como máximo 2 hornos en caso que sea factible.
5. Con la balanza analítica se aumenta la capacidad para efectuar el peso de la muestras y se obtienen ingresos anuales de 32.0 MMT. El DCM dispone en estos momentos de 1 balanza analítica. El objetivo es aumentar la capacidad de pesaje, ya que las demandas son superiores a la capacidad actual que tiene el laboratorio. Por esta razón es que se solicita que al menos se compren 1 y como máximo 2.
6. Con la balanza técnica de 1500g se aumenta la capacidad para efectuar el peso de las muestras y se obtienen utilidades por valor de 33.0 MMT. El DCM necesita como máximo 1 balanza en caso que sea factible.
7. Con la balanza técnica de 6100g se aumenta la capacidad para efectuar el peso de las muestras de más de 5 Kg aunque siempre no es demanda, debido a que el gran volumen de muestras que se pesan son inferiores a los 1.5Kg y se estiman utilidades por valor de 7.0 MMT.

- a. Si se compra una balanza técnica de 1500g, no es tan necesario comprar la balanza de 6100g, porque se cubriría el mayor número de demandas de pesaje de muestras en el laboratorio que es inferior a 1,5 Kg y si fuera necesario realizar el peso de alguna muestra superior a 1,5 Kg, se realizaría en otro laboratorio de investigación, que sí cuentan con esta capacidad de pesaje.
8. Con las planchas de calentamiento se aumentan las capacidades de servicios de calentamiento y agitación de muestras y se obtienen utilidades de 33 MMT. El DCM necesita como máximo 2 planchas de calentamiento en caso que sea factible y al menos 1 porque no se dispone en el laboratorio de planchas de calentamiento en buen estado técnico.
9. Con el Ph-metro se obtienen utilidades de 23 MMT. El Centro necesita adquirir un PH-metro en DCM porque no dispone de este equipo en el laboratorio.
- a. Nota. Todos los equipos anteriores forman parte de un proceso único y prácticamente todos los análisis que se realizan en el DCM. Por lo tanto es necesario que si se adquiere un equipo que forma parte del proceso de análisis, hay que comprar al menos uno de cada uno de los equipos mencionados anteriormente. El aumento de un tipo de equipo en el proceso aumenta las capacidades de analizar mayor volumen de muestras.
- b. Como tal cada equipo de forma independiente no genera ingresos ni utilidades directamente, pero si cuando se agrupan estos equipos, contribuyen a realizar varios servicios, que generan ingresos y utilidades. Para determinar cuánto aporta cada equipo de este proceso de análisis de muestra, se determinó un coeficiente de ingreso de cada uno de ellos, que brindan servicios vinculados a un proceso a partir de los costos de estos servicios y los ingresos generales que se generan.
10. Con el potenciómetro se aumentan los servicios de medición a otras determinaciones como : CN<sup>-</sup> , F<sup>-</sup> ,Ag<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Hg<sup>2+</sup>, S<sup>2-</sup>, NO<sup>3-</sup> y NO<sup>2-</sup> ETC. de ellos el CN es importante para los procesos de extracción de oro que es una de las fuentes fundamentales de ingresos del DCM, entre otros y se obtienen utilidades de 58.0 MMT anuales. El Centro necesita como máximo 1 potenciómetro en caso que sea factible.
11. Con el espectrofotómetro se obtienen nuevos servicios. Además representa una opción ante cualquier dificultad material o de calidad de los resultados, ya que permite realizar comprobaciones. Las ganancias anuales se estiman por 62.0 MMT. El DCM necesita como máximo 1 espectrofotómetro en caso que sea factible.
12. Con el equipo de Fluorescencia de Rayos X, se mejoraría la eficiencia de los servicios actuales de análisis de muestras que se realizan en los equipos de Absorción Atómica e ICP, ya que la preparación de muestras para realizar los análisis en estos equipos sería más complicada y costosa que la preparación de las muestras para el equipo de Fluorescencia de Rayos X. Esto disminuye los costos de preparación de muestras y por tanto aumentan las utilidades para el Centro. El Centro necesita en el DCM como máximo 1 equipo de Fluorescencia de Rayos X en caso que sea factible.
13. Con el Microscopio Electrónico de Barrido se incrementarían los servicios del Laboratorio de Caracterización de Minerales. Los ingresos anuales obtenidos con los servicios de microscopia electrónica de barrido son de 192.0 MMT, de acuerdo al estudio de demandas proyectadas al Centro y al total de investigaciones que van a estar vinculadas a los servicios de este equipo. El Centro requiere solamente un microscopio en caso que sea factible.
14. Con el programador de tiempo se mejoran las condiciones de trabajo del investigador pero las utilidades a obtener son mínimas, por las que se desprecian. El DCM necesita como máximo 1 programador de tiempo en caso que sea factible.
15. Con el cronómetro digital se mejoran las condiciones de trabajo del investigador pero las utilidades a obtener son mínimas, por las que se desprecian. El DCM necesita como

máximo 1 cronometro digital en caso que sea factible.

- a. Si se compra el cronometro no es necesario comprar el programador ya que los dos realizan prácticamente la misma función.

16. Con un nuevo horno de copelación se aumentarían las capacidades de copelación de muestras, principalmente para la certificación del oro. El Centro en la actualidad cuenta con 2 hornos de copelación, uno que ya ha sido explotado y ya ha depreciado, y otro horno que nunca ha funcionado porque se ha dificultado la conexión eléctrica, que debe tener un voltaje de 380 V. El objetivo del Centro es conectar eléctricamente el otro horno y adquirir un horno nuevo para aumentar las capacidades de copelación y poder satisfacer las demandas, siempre que sea factible para el Centro. El DCM necesita como máximo 1 horno de copelación en caso que sea factible.

17. Es obligatorio para el Centro comprar 3 Ph-metros, 2 bombas peristálticas y 3 bombas de vacíos para los laboratorios de investigaciones,

debido a que estas áreas no cuentan en estos momentos con la disponibilidad suficiente de estos equipos para realizar las investigaciones, y estos equipos en conjunto con otras actividades manuales que se realizan generan utilidades anuales por valor de 517 MMT.

El valor de los equipos aparece en la tabla siguiente:

### Modelo Matemático

X<sub>j</sub>: Cantidad de equipos de laboratorios tipo j a importar o no importar

j=1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17.

X<sub>1</sub>; X<sub>2</sub>; X<sub>3</sub>; X<sub>4</sub>; X<sub>5</sub>; X<sub>6</sub>; X<sub>7</sub>; X<sub>8</sub>; X<sub>9</sub>; X<sub>10</sub>; X<sub>11</sub>; X<sub>12</sub>; X<sub>13</sub>; X<sub>14</sub>; X<sub>15</sub>; X<sub>16</sub>; X<sub>17</sub>; € Z y j

Esta condición quiere decir que las variables planteas deben tomar valores enteros.

X<sub>1</sub>; X<sub>4</sub>; X<sub>5</sub>; X<sub>7</sub>; X<sub>8</sub>; X<sub>9</sub>; X<sub>10</sub>; X<sub>11</sub>; X<sub>12</sub>; X<sub>13</sub>; X<sub>14</sub> = {0;1} y j

Esto significa que estas variables deben tomar valores solo de 0 y 1.

FO: Función Objetivo

(Z): Ganancia

**Tabla 1.** Plan de importaciones de equipos 2019

| Plan de importaciones de equipos 2019 |                                                                                   |       |           |              |                                  |                                |                                   |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|-----------|--------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Variables                             | Equipos                                                                           | Cant. | P/U (MMT) | Precio Total | Ingresos generados por el equipo | Costos de operación del equipo | Ganancias generadas por el equipo |
| X1                                    | Estufa de secado                                                                  | 1     | 1.80      | 1.80         | 62.00                            | 13.00                          | 49.00                             |
| X2                                    | Horno mufla                                                                       | 2     | 5.50      | 11.00        | 80.00                            | 12.00                          | 68.00                             |
| X3                                    | Balanza analítica de laboratorio                                                  | 2     | 1.80      | 3.60         | 32.00                            | 3.20                           | 28.80                             |
| X4                                    | Balanza técnica de laboratorio 1500g                                              | 1     | 0.60      | 0.80         | 24.00                            | 5.60                           | 18.40                             |
| X5                                    | Balanza técnica de laboratorio 6100g                                              | 1     | 0.80      | 0.80         | 5.00                             | 1.20                           | 3.80                              |
| X6                                    | Planchas de agitación magnética con calefacción                                   | 2     | 1.00      | 2.00         | 33.00                            | 9.00                           | 24.00                             |
| X7                                    | Phmetro de mesa para el DCM                                                       | 1     | 2.40      | 2.40         | 52.00                            | 3.00                           | 49.00                             |
| X8                                    | Potenciometro con electrodos selectivos CN-, F-, Ag+, Cl-, Hg2+, S2-, NO3- y NO2- | 1     | 7.00      | 7.00         | 58.00                            | 6.80                           | 51.20                             |
| X9                                    | Espectrofotometro UV-Visible (UV-2300)                                            | 1     | 10.70     | 10.70        | 62.00                            | 21.00                          | 41.00                             |
| X10                                   | Equipo Portátil de Fluorescencia de Rayos X                                       | 1     | 17.60     | 17.60        | 45.00                            | 18.50                          | 26.50                             |
| X11                                   | Microscopio Electrónico de Barrido con Analizador de Rayos X acoplado             | 1     | 95.00     | 95.00        | 192.00                           | 9.00                           | 183.00                            |
| X12                                   | Programador de tiempo (contador/cronometro) digital                               | 1     | 0.02      | 0.02         | 0.00                             | 0.00                           | 0.00                              |
| X13                                   | Cronometro digital                                                                | 1     | 0.03      | 0.03         | 0.00                             | 0.00                           | 0.00                              |
| X14                                   | Horno de copelación CARBOLITESCF-24                                               | 1     | 26.40     | 26.40        | 120.00                           | 28.00                          | 92.00                             |
| X15                                   | Equipo medidor de PH                                                              | 3     | 2.40      | 7.20         | 60.00                            | 3.60                           | 56.40                             |
| X16                                   | Bomba peristáltica y accesorios                                                   | 2     | 6.40      | 12.80        | 28.00                            | 4.20                           | 23.80                             |
| X17                                   | Bomba de vacío                                                                    | 3     | 5.00      | 15.00        | 31.00                            | 3.80                           | 27.20                             |
| TOTAL                                 |                                                                                   |       | 184.44    | 214.14       | 884.00                           | 141.90                         | 742.10                            |

$\text{Max}(Z)=49(X_1)+68(X_2)+28(X_3)+18.4(X_4)+3.8(X_5)+24(X_6)+49(X_7)+51.2(X_8)+41(X_9)+26.5(X_{10})+183(X_{11})+0.5(X_{12})+0.5(X_{13})+92(X_{14})+56.4(X_{15})+23.8(X_{16})+27.2(X_{17})$

La función objetivo consiste en la meta que tenga la organización con la compra de los equipos de laboratorios, que radica en obtener la mayor cantidad posible de utilidades. La función objetivo, se plantea mediante la suma de las multiplicaciones de las ganancias de los servicios brindados por la cantidad de equipos que se adquieran de cada tipo.

1.  $1.8(X_1) + 5.5(X_2) + 1.8(X_3) + 0.6(X_4) + 0.8(X_5) + 1(X_6) + 2.4(X_7) + 7(X_8) + 10.6(X_9) + 17.6(X_{10}) + 95(X_{11}) + 0.015(X_{12}) + 0.025(X_{13}) + 26.4(X_{14}) + 2.4(X_{15}) + 6.4(X_{16}) + 5(X_{17}) \leq 160$

En la restricción 1, se plantea que la compra de los equipos de laboratorios no puede superar los 160.0 MMT asignados por el Grupo Empresarial para ejecutar esta inversión. En la restricción se multiplican los precios de cada equipo por la cantidad de equipos, según el tipo que sea y se suman y se plantea que debe ser menor que 160.0 MMT.

2.  $X_1 \geq 1$

En esta restricción se plantea que se debe comprar al menos una estufa y como la variable solo puede tomar valor 0 o 1, se proyecta que es obligatorio comprar una estufa, de acuerdo a la inecuación trazada.

3.  $X_2 \geq 1$

Aquí se plantea que se debe adquirir al menos un horno mufla.

4.  $X_2 \leq 2$

En esta inecuación se plantea que se debe comprar como máximo 2 hornos muflas.

5.  $X_3 \geq 1$

Esto dice que al menos se debe comprar una balanza analítica.

6.  $X_3 \leq 2$

Como máximo se debe comprar 2 balanzas analíticas y como la variable es entera solo se puede comprar 1 o 2 balanzas analíticas.

7.  $X_4 + X_5 \leq 1$  Si  $X_4=1$ ;  $X_5=0$  o si  $X_4=0$ ;  $X_5=1$

Esta inecuación significa que si se compra una balanza técnica de 1500g no se compra la balanza técnica de 6100g y viceversa, porque son variables que pueden tomar valores solo de 0 y 1,

de acuerdo a la inecuación planteada solo una de las dos variables puede tomar valor 1.

8.  $X_6 \geq 1$

Esto dice que al menos se debe comprar una plancha de calefacción.

9.  $X_6 \leq 2$

Como máximo se debe comprar 2 planchas de calefacción y como la variable es entera solo se puede comprar 1 o 2 plancha de calefacción.

10.  $X_7 \geq 1$

En esta restricción se plantea que se debe comprar al menos un Ph-metro y como la variable solo puede tomar valor 0 o 1, se plantea que es obligatorio comprar un Ph-metro, de acuerdo a la inecuación proyectada.

11.  $X_{12} + X_{13} \leq 1$  Si  $X_{12}=1$ ;  $X_{13}=0$  o si  $X_{12}=0$ ;  $X_{13}=1$

Esta inecuación significa que si se compra un programador de tiempo no se compra el cronometro digital y viceversa, porque como son variables que pueden tomar valores de 0 y 1, de acuerdo a la inecuación planteada solo una de las dos variables puede tomar valor 1.

12.  $X_{15} \geq 3$

13.  $X_{15} \leq 3$

En la inecuación 12 y 13 se plantea que se debe comprar 3 Ph-metros ya que la variable debe ser menor e igual que 3 y mayor e igual que 3.

14.  $X_{16} \geq 2$

15.  $X_{16} \leq 2$

En la inecuación 14 y 15 se plantea que se debe comprar 2 Bombas peristálticas ya que la variable debe ser menor e igual que 2 y mayor e igual que 2.

16.  $X_{17} \geq 3$

17.  $X_{17} \leq 3$

En la inecuación 16 y 17 se plantea que se debe comprar 3 bombas de vacío ya que la variable debe ser menor e igual que 3 y mayor e igual que 3.

Todas estas inecuaciones del modelo responden a las restricciones y condiciones planteadas para la compra de los equipos de laboratorios

## Resultados del modelo mediante el método SIMPLEX

La mayor ganancia que se obtiene es de **889.0 MMT** aplicando la propuesta de equipos a importar que se muestra en la [Tabla 2](#):

**Tabla 2.** Resultados de modelo mediante el método SIMPLEX.

| Equipos                                                                                                                                                                                                         | Variables de decisión | Estado de la variable | Valores | Variable de holgura | Valores | Variables de dualidad | Valor |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------|---------------------|---------|-----------------------|-------|
| Estufa de secado                                                                                                                                                                                                | X1                    | Básica                | 1       | S1                  | 1.585   | Y0                    | 0     |
| Horno mufla                                                                                                                                                                                                     | X2                    | Básica                | 2       | S2                  | 0       | Y1                    | 0     |
| Balanza analítica de laboratorio                                                                                                                                                                                | X3                    | Básica                | 2       | S3                  | 1       | Y2                    | 0     |
| Balanza técnica de laboratorio 1500g                                                                                                                                                                            | X4                    | Básica                | 1       | S4                  | 0       | Y3                    | 68    |
| Balanza técnica de laboratorio 6100g                                                                                                                                                                            | X5                    | No Básica             | 0       | S5                  | 1       | Y4                    | 0     |
| Planchas de agitación magnética con calefacción                                                                                                                                                                 | X6                    | Básica                | 2       | S6                  | 0       | Y5                    | 28    |
| Ph-metro de mesa para el DCM                                                                                                                                                                                    | X7                    | Básica                | 1       | S7                  | 0       | Y6                    | 18.4  |
| Potenciómetro con electrodos selectivos CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , Ag <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> , Hg <sup>2+</sup> , S <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> y NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | X8                    | Básica                | 1       | S8                  | 1       | Y7                    | 0     |
| Espectrofotómetro UV-Visible (UV-2300)                                                                                                                                                                          | X9                    | Básica                | 0       | S9                  | 1       | Y8                    | 24    |
| Equipo Portátil de Fluorescencia de Rayos X                                                                                                                                                                     | X10                   | Básica                | 0       | S10                 | 0       | Y9                    | 0     |
| Microscopio Electrónico de Barrido con Analizador de Rayos X acoplado                                                                                                                                           | X11                   | Básica                | 1       | S11                 | 0       | Y10                   | 0.5   |
| Programador de tiempo (contador/cronómetro) digital                                                                                                                                                             | X12                   | Básica                | 1       | S12                 | 0       | Y11                   | 0     |
| Cronómetro digital                                                                                                                                                                                              | X13                   | No Básica             | 0       | S13                 | 0       | Y12                   | 56.4  |
| Horno de copelación CARBOLITE SCF-24                                                                                                                                                                            | X14                   | Básica                | 0       | S14                 | 0       | Y13                   | 0     |
| Equipo medidor de PH                                                                                                                                                                                            | X15                   | Básica                | 3       | S15                 | 0       | Y14                   | 23.8  |
| Bomba peristáltica y accesorios                                                                                                                                                                                 | X16                   | Básica                | 2       | S16                 | 0       | Y15                   | 0     |
| Bomba de vacío                                                                                                                                                                                                  | X17                   | Básica                | 3       | S17                 | 0       | Y16                   | 27.2  |

## CONCLUSIONES

1. Se diseñó un modelo matemático que facilita la selección de equipos de laboratorios a partir de las restricciones y condiciones planteadas como requisitos para las importaciones de los mismos.
2. Se aplicó el Método Simplex para dar solución al modelo matemático diseñado y se determinó que los equipos a importar son: 1 estufa, 2 hornos muflas, 2 balanzas analíticas, 1 balanza técnica de 1500g, 2 planchas de calentamiento con agitación magnética, 1 Ph-metro, 1 Potenciómetro, 1 Microscopio Electrónico de

Barrido, 1 programador de tiempo, 3 equipos medidores de Ph, 2 bombas peristálticas y 3 bombas de vacío.

3. Se determinó mediante el Método Simplex que la mayor ganancia se obtiene con la importación de los equipos seleccionados, por valor de 889.0 MMT al año.

## BIBLIOGRAFIA

- Equipos de laboratorio. (2018). from <http://www.pce-iberica.es/instrumentos-de-medida/equipos-laboratorio.htm>
- López, B. S. (2016). MÉTODO SIMPLEX. from <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/>

[herramientas-para-el-ingeniero-industrial/investigaci%C3%B3n-de-operaciones/m%C3%A9todo-simplex/](#)

Marketing, E. e. d. (2016). La importancia de adquirir materiales de laboratorio de calidad. from <http://elcrisol.com.mx/la-importancia-de-adquirir-materiales-de-laboratorio-de-calidad/>

Real, E. (2015). Selección de equipo y tecnología.

Serrano, M. Á. L. (2001). Aplicaciones de la PROGRAMACIÓN LINEAL ENTERA a la OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA.

Yáñez, J. (2016). Técnicas de Optimización.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](#)