

## Metodología para selección de portafolios de inversión a través del análisis de clúster y programación lineal entera binaria

*Methodology for selecting investment portfolio through cluster analysis and entire binary linear programming*

Argenis López Ollarbez, Ezequiel Gómez Abreu

**Palabras clave:** portafolio de proyectos, indicadores de atractividad, multifactores ponderados, análisis de clúster, programación lineal entera binaria

**Key words:** project Portfolio, attractiveness Indicators, weighted metrics, cluster analysis, binary integer line programming

### RESUMEN

El proceso racional de toma de decisiones, utiliza modelos y reglas matemáticas que permiten un proceso sistemático y ordenado. En este artículo se propone el uso del análisis de clúster y la programación lineal entera binaria (PLEB) como herramientas a considerar en el proceso de toma de decisiones para seleccionar proyectos de inversión. Se evaluaron doce proyectos de una empresa del sector alimento en Valencia Venezuela, formándose dos conglomerados con características diferenciadoras. El procedimiento metodológico inició con el levantamiento de indicadores de atractividad, para valorar las iniciativas de inversión para clasificarlas mediante el análisis de clúster. Sobre el agrupamiento resultante se formuló un problema de PLEB, con el objetivo de asignar los recursos financieros a cada proyecto, maximizando el valor presente neto (VPN), sujeto a restricciones de carácter estratégico y de diversificación. La metodología propuesta es de valor y utilidad para apoyar el proceso de toma de decisiones, orientando a impulsar aquellos proyectos prioritarios para el crecimiento de la empresa.

### ABSTRACT

The rational decision-making process uses models and mathematical rules that allow a systematic and orderly process. This article proposes the use of cluster analysis and binary integer linear programming (PLEB) as tools to consider in the decision-making process to select investment projects. Twelve projects of a company in the food sector in Valencia Venezuela were evaluated, forming two conglomerates with differentiating characteristics. The methodological procedure began with the survey of attractiveness indicators to assess investment initiatives to classify them through cluster analysis. A PLEB problem was formulated on the resulting grouping, with the objective of assigning financial resources to each project, maximizing the net present value (NPV), subject to strategic and diversification restrictions. The proposed methodology is valuable and useful to support the decision-making process, guiding the promotion of those priority projects for the growth of the company.

## INTRODUCCIÓN

El proceso racional de toma de decisiones, utiliza modelos y reglas matemáticas que permiten un proceso sistemático y ordenado. La idea de utilizar modelos como apoyo al proceso de toma de decisiones no es nueva (Rugsdale, 2010). El uso de mapas, diagramas de flujo, gráficas y ecuaciones básicas para apoyar este proceso no es raro, aunque su uso se ha hecho mucho más atractivo gracias a la accesibilidad de mayor poder de cómputo. Desde esta perspectiva, se manifiesta especialmente útil mencionar que ciertamente las matemáticas dentro de sus bondades permiten reproducir, o si se quiere modelar, realidades y sus fenómenos, realizando abstracciones y representaciones del entorno; quedando claro que su alcance estará limitado a estudiar rigurosamente variables tangibles, en el sentido estricto de su medición.

Por otro lado, es posible afirmar que, una gestión de portafolio de proyectos es eficaz si contempla la habilidad de hacer elecciones estratégicas, es decir, establecer criterios de selección de proyecto (Cooper, et al., 1999) que apoyen la toma de decisiones en relación a conocer en qué proyectos invertir. En todo caso, cuando se habla de proyectos y planificación estratégica, se asevera que los proyectos incluidos en programas o portafolios constituyen un medio para alcanzar las metas y los objetivos de la organización en el marco de un plan estratégico. De esta manera, el plan estratégico de una organización se convierte en el principal

factor que guía las inversiones en los proyectos (PMI, 2013).

Son diversos los métodos utilizados para mejorar la selección del portafolio de proyectos y todos apuntan a garantizar una gestión optimizada de selección, asumiendo que esta es una tarea crítica para las organizaciones en diferentes sectores industriales y empresariales (Sainz et al, 2021).

En análisis de clúster, es una de las técnicas multivariante, usada cuando se desea realizar alguna clasificación, de hecho, clasificar los elementos de un conjunto finito consiste en realizar una partición del conjunto en subconjuntos homogéneos, siguiendo un determinado criterio de tipificación. Cada elemento pertenece a un único subconjunto (Cuadras, 2007). En lo referido a proyectos de inversión el análisis de clúster, trata de agrupar los proyectos candidatos a partir de una serie de atributos independientes, de forma que, los grupos o conglomerados sean lo más homogéneos posibles en función de lo similar o distinto que sean los proyectos entre sí. Esta búsqueda de similitud para el caso de la selección de grupos de proyectos generalmente se centra en la búsqueda de aquel grupo de proyectos que mantenga una posición estratégica en la empresa (Mathieu y Gibson, 1993).

Por lo tanto, una herramienta que permita la clasificación de proyectos de inversión que constituirán el portafolio, sin duda alguna, es para la industria una herramienta fundamental que sirve de

apalancamiento para la toma de decisiones en relación a la selección de proyectos a ejecutar, teniendo como fin último un portafolio de proyectos correctamente balanceado que apoye el cumplimiento de la estrategia de negocio.

Al tener clasificados los proyectos de acuerdo a sus características, el ente decisor obtiene una visión más amplia del abanico de oportunidades de inversión, que fundamentará el crecimiento de la empresa. Es claro que el empleo de una técnica multivariante como apoyo para la toma de decisiones permitirá establecer comparaciones de atractividad entre proyectos, sin embargo, no será la herramienta excluyente para decidir si estos se ejecutan o no, por lo general, esta técnica se fusiona con otras, tales como, métodos económicos, programación matemática, entre otros, con el fin de establecer finalmente el portafolio de inversión a ejecutar.

Al respecto, la programación lineal (PL), es una herramienta matemática de optimización, que maximiza o minimiza una función objetivo, sujeta a una serie de restricciones impuestas por la naturaleza del problema que se esté resolviendo (Ruz, 2017). En el contexto de proyectos, la programación lineal es una alternativa que permite identificar los proyectos que deben componer el portafolio de proyectos, de manera que se maximicen los beneficios para el inversionista, cuya cuantificación del beneficio puede obtenerse a través de la prueba de bondad financiera (VPN), que tiene en cuenta el dinero en el tiempo y

toma como referencia los flujos de caja de los proyectos (Blanco et al, 2017). En consecuencia, es posible conjugar la PL con el análisis de clúster, para constituir modelos de toma de decisiones. En muchos problemas de PL sólo tienen sentido aquellas soluciones de la región factible en la que toda o algunas de las variables de decisión toman valores enteros. Este tipo de problema se denomina en general programación lineal entera binaria (PLEB), cuando las variables enteras están restringidas a los dos valores (0-1).

### **Problema de Estudio**

La diferencia entre una buena y mala decisión puede ser la diferencia entre el éxito y el fracaso, de allí lo importante de tener a la mano, herramientas de peso, capaces de proveer un análisis que sustente ampliamente la decisión a tomar, en cuanto a la elección de alternativas de proyectos de inversión. El reto es el desarrollo de una herramienta que permita seleccionar un conglomerado de proyectos de un conjunto de alternativas.

Se plantea entonces el deseo de responder al problema presente en la empresa al momento de la selección de proyectos de inversión; que consiste en cómo invertir y gestionar los recursos escasos entre una serie de proyectos candidatos. Por tanto, se pretende estudiar un problema de decisión crucial, que debe ser abordado por la empresa en diferentes momentos de su vida para garantizar su eficiencia y, posiblemente, su supervivencia.

En consecuencia, se sugiere la implementación del análisis de clúster,

como técnica que contemple sólo los proyectos más apegados a la estrategia de negocio, por ello es necesario contar con valores de denominación de cada uno de los proyectos en relación a los intereses de la empresa.

Una vez que se tiene tabulado los valores de denominación (indicadores de atraktividad) de cada uno de los proyectos, proporcionado por el ente decisor, se da lugar al análisis de clúster con la finalidad de clasificar los proyectos de acuerdo algún grado de similitud. El objetivo de este procedimiento es encontrar  $k$  conglomerados que minimicen la suma de las distancias euclidianas al cuadrado entre proyectos, es decir, verificar que los proyectos que conformen cada grupo, sean lo más similar posible y que además cada grupo sea diferente de otros (Figura 1). Para los cálculos requeridos, se utiliza IBM© SPSS© Statistics Versión 23.

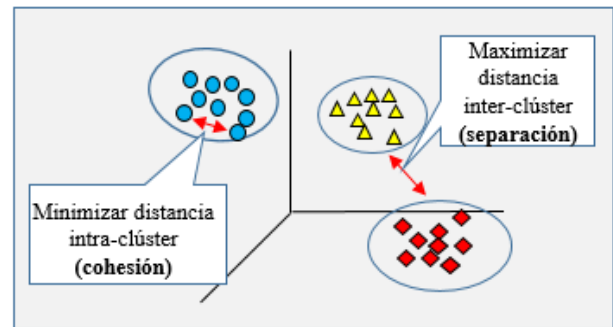


Figura 1. Visualización de grupos de clúster

Los análisis se realizan a través de la clasificación por clúster jerárquico; donde se generará un dendograma sobre los datos tabulados en relación a los indicadores de atraktividad, con la finalidad de estimar el valor de grupos  $k$  más adecuado para la clasificación, y luego se realiza una partición por clúster de  $k$ -media; donde se genera la tabla de pertenencia de conglomerados que identifica los proyectos para cada grupo.

## METODOLOGÍA

### Fase I. Identificación de las variables o criterios para la clasificación de proyectos

Es necesario que las organizaciones empresariales identifiquen cuáles son los criterios de atraktividad presente en la selección de proyectos, asumiendo que estos deben estar alineados con la visión, misión y sus objetivos estratégicos. El levantamiento de estos criterios puede ser a través de técnicas, tales como: multifactores ponderados, métodos comparativos, entre otros, y dependerá en gran medida de la naturaleza de la empresa, diversos autores aseveran que los mismos

son indispensables cuando se desea levantar indicadores para la medición de atraktividad de las iniciativas de inversión (Useche, 2016).

### Fase II. Valorización de los proyectos de inversión en función de los criterios de atraktividad

Para llevar a cabo de manera exitosa la metodología propuesta para la selección de un portafolio de proyectos de inversión, es imprescindible que al menos haya dos o más proyectos (preferiblemente) a estudiar, de manera que se pueda dar inicio al proceso de competición entre los proyectos

alternativos, así como también, es indispensable que el recurso disponible, específicamente, el referido al capital asignado para la ejecución del portafolio no sea inferior al valor necesario para la puesta en marcha del proyecto de menor costo en el portafolio. Por otra parte, la metodología propuesta no pretende estudiar un proyecto de manera individual, este no calcula los indicadores de evaluación económicos, tales como: valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR), método de período de recuperación o índice de rentabilidad de cada proyecto, así como tampoco, algún otro análisis de tipo técnico u operacional, es decir, cada proyecto deberá ser postulado con su análisis respectivo (económico, técnico, operacional, legal) y a partir de allí, se iniciará el proceso de competencia entre proyectos para la constitución del portafolio de proyectos de inversión más apegado a las necesidades de la empresa.

En todo caso, habiendo establecido los criterios de atractividad para la selección de proyectos es momento de presentar las iniciativas de inversión propuestas, con el fin de valorizar cada una de éstas, de manera que se inicie el análisis de clúster. Es posible identificar tres aspectos a considerar cuando se realiza el diseño del análisis de clúster: los datos, la medida de similitud y el método de clusterización (Santana, 1999). Las decisiones adoptadas en esta fase determinarán en gran medida las configuraciones resultantes.

A. *Datos*: incluye los individuos a agrupar; para el caso en estudio lo constituye el

número total de iniciativas de inversión, además de las variables, cuyo número no debe ser elevado para no perjudicar la interpretabilidad de los resultados y deben ser comparables entre sí, tanto en su lógica como en sus escalas; para el caso en estudio coinciden con los criterios de atractividad establecido.

B. *Medida de similitud*: existen diversos factores que permiten determinar la similitud entre proyectos, tales como, coeficientes de correlación, medidas de asociación y los coeficientes de similitud probabilística. En la presente investigación se propone utilizar medidas de distancia, en específico: distancia euclidiana.

C. *Método de clusterización*: al igual que la medida de similitud, existen diversos métodos para realizar el análisis de clúster. En la presente investigación se utilizará: análisis jerárquico aglomerativo (Método de Ward) y partición iterativa (*k*-media).

### **Fase III. Análisis jerárquico aglomerativo**

El análisis jerárquico inicia con el cálculo de la matriz de distancia entre cada uno de los proyectos a evaluar, seguidamente se buscan los dos proyectos más cercanos, en términos de distancia, y se agrupan en un conglomerado. Este conglomerado resultante, es indivisible desde ese momento, es por ello que, a este tipo de análisis se le conoce como jerárquico; a partir de allí se van agrupando los proyectos en conglomerados cada vez más grandes y más heterogéneos, hasta llegar a un último conglomerado global en el que se agrupan todos los proyectos.

El Método de Ward, afirma que los conglomerados deben constituirse de tal manera que, al fundirse dos proyectos, la suma de las distancias al cuadrado de cada proyecto sea mínima con respecto al centroide del conglomerado al que pertenece; tal como se muestra en la ecuación (1), cantidad denominada suma de cuadrados de error (SCE) (Dutra et al, 2004).

$$SCE = \sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^n (x_{ij}^k - m_j^k)^2 = \sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^n (x_{ij}^k)^2 - n_k \sum_{j=1}^n (m_j^k)^2 \quad (1)$$

donde,  $x_{ij}^k$  es el valor de la  $j$ -ésima variable o criterio de atractividad sobre el  $i$ -ésimo proyecto del  $k$ -ésimo clúster, suponiendo que dicho clúster pose  $n_k$  proyectos, y finalmente  $m_j^k$  es el centroide del clúster  $k$ , con componentes  $m_j^k$ . El agrupamiento jerárquico, permite apreciar que proyectos o grupo de proyectos se han fusionado con otros y a que distancia entre sí se encontraban cuando se fusionaron, de modo que, se valora la heterogeneidad, y en consecuencia, se decide en cuál etapa la fusión de proyectos incrementa la heterogeneidad, todo esto con la finalidad de determinar un posible número  $k$  de conglomerado más adecuado para la clasificación de proyectos, siendo este el insumo para el análisis por partición iterativa  $k$ -media.

#### Fase IV. Análisis de clúster $k$ -media

El agrupamiento de tipo  $k$ -media fundamenta su análisis en la distancia existente entre proyectos, el procedimiento inicia calculando la matriz de proximidad

entre proyectos, a partir de la tabla 2, seguidamente se indica el número de  $k$  conglomerados que se desea obtener; para fines de esta investigación este se estima a través el análisis jerárquico, con ello se determina en la matriz de proximidad los  $k$  proyectos más distantes entre sí, con la finalidad de fijar los primeros centroides, desde donde se iniciará un proceso iterativo para la reagrupación de proyectos, es decir, se asignarán los proyectos más cercanos a tales centroides, luego iterativamente se irán actualizando los centroides en función de la asignación de proyectos a los conglomerados, hasta que los centroides dejen de cambiar; definiendo centroide como el centro geométrico del conglomerado: media aritmética.

La afirmación anterior, señala que lectura de los datos es de forma secuencial, es decir, se asignan los proyectos a los centroides más próximos y a su vez se va actualizando el valor de los centroides a medida que se van incorporando nuevos proyectos a cada conglomerado y una vez que los proyectos han sido asignados a cada uno de los  $k$  conglomerados, se inicia un proceso iterativo para calcular los centroides finales de los  $k$  conglomerados.

#### Fase V. Formulación del problema de PLEB

Como complemento, y para finalizar la metodología propuesta se formula una función objetivo que maximiza la valorización de la empresa, tomado en cuenta el VPN, sujeta a restricciones de recurso financiero, de diversificación del

portafolio y de efectividad de los criterios de atractividad.

En este orden de idea, se trabaja la siguiente premisa; la empresa caso de estudio está considerando  $i$  ( $i=1, \dots, n$ ) proyectos para revalorizar sus procesos y operaciones, siendo  $S_i$  el valor presente neto (VPN) para el proyecto  $i$ , sujeto al desembolso de capital  $C_{it}$  para el proyecto  $i$  en el tiempo  $t$  ( $t=1, \dots, 3$ ), cuyo fondos disponibles para la ejecución de los mismos en el tiempo  $t$  está definido como  $F_t$ . Además, se quiere que el portafolio sea al menos un tercio del total de proyectos obtenidos en el proceso de clasificación, y que a su vez estos representen al menos la media en efectividad respecto a los criterios de atractividad.

#### Función objetivo

$$\text{Max}(Z) = \sum_i^n S_i \cdot X_i \quad (2)$$

#### Variable de decisión

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{si el proyecto } i \text{ se realiza} \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases} \quad (3)$$

## RESULTADOS

En el cuadro 1, se exponen ciertos discernimientos, cuyas dimensiones, sustentan los criterios de atractividad establecidos para esta investigación (Pérez, 2012):

A. *Estratégico*: evalúa en qué medida cada uno de los proyectos que compiten, por la asignación de recursos, se apega a la estrategia de la organización. Aquí se

#### Restricción para asignación de recurso financiero

$$\sum_{i=1}^n x_{it} \cdot C_{it} \leq F_t \quad t = 1,2,3 \quad (4)$$

#### Restricción para criterios de atractividad

Se conoce que cada proyecto  $i$  tiene una valorización; estratégica  $\sigma_i$ , económica  $\beta_i$ , diferenciadora  $\delta_i$ , de igual forma, cada proyecto  $i$  tiene un valor de esfuerzo de implementación  $\varphi_i$  y se espera que estos aporten una eficiencia mayor a  $Q$ . El valor de la cota  $Q$  viene dado por la suma de la media de los indicadores; estratégico, económico y diferenciador, en el conglomerado de pertenencia seleccionado menos la media del esfuerzo de implementación. Además, se debe garantizar que al menos se incluya un tercio de proyectos productos del conglomerado obtenido a través del clúster  $k$ -media.

$$\sum_{i=1}^n x_i (\sigma_i + \beta_i + \delta_i - \varphi_i) \geq \frac{n}{3} Q \quad (5)$$

consideran aspectos relevantes tales como, el valor en que el proyecto es consistente con la misión, visión, objetivos y valores de la organización.

B. *Económico*: se refiere a la solvencia de la empresa y que tanto compromete los recursos finitos de la misma, permitiendo que la empresa se revalorice en términos financieros. Mide el beneficio económico para la organización.

C. *Diferenciación*: mide el nivel de innovación, evalúa el compromiso en el área de investigación y desarrollo que la empresa tiene en el ámbito en la que ésta se desenvuelve; nuevos productos, calidad, eficiencia operacional, etc.

D. *Esfuerzo*: está referido al nivel de factibilidad que tienen cada uno de los proyectos a implementarse, en términos: operacional, técnico y legal.

Cuadro 1. *Criterios de selección de proyectos para la gestión de portafolio*

Dimensiones	Huang et al. (2008)	Mohanty et al. (2005)	Bitman y Sharif (2008)	Coldrick et al. (2005)
<b>Alineación estratégica y capacidades</b>	Capacidad de ejecución	Atributos del proyecto, interés organizacional, categoría del proyecto sensatez, atraktividad, competitividad	Sensatez, atraktividad, competitividad	Filtros técnicos, estratégicos y corporativos
<b>Atributos del proyecto</b>	Riesgos del proyecto, mérito científico y tecnológico	Atributos del proyecto, riesgos	Grado de innovación	Filtros técnicos y de implementación
<b>Impactos del proyecto</b>	Beneficios del proyecto	Mercado potencial, aspectos ambientales	Aspectos de responsabilidad y competitividad	Filtros financieros, y de mercado

En este orden de ideas, el diseño de los multifactores a ponderar se sustentaron en cada uno de los criterios de atraktividad identificados, y sobre ellos el panel decisor, experto en el área de gestión de proyectos de inversión, pudo evaluar cada una de las iniciativas de inversión. Los pesos ponderados para la valorización fueron discutidos por el equipo de trabajo y van del 1 al 100%. El valor numérico de cada factor va de 1 al 5, en la escala de Likert (Beltrán, 2005), de acuerdo con la significancia del proyecto en relación al factor referido.

Los multifactores, dan razón a indicadores de medición que no son más que datos o conjunto de datos de origen cuantitativo o cualitativo, que ayudan a medir objetivamente cada criterio de atraktividad de un proyecto, respecto a metas y objetivos previstos e influencias esperadas (Cárdenas, 2013).

En las tablas 1 (a, b, c y d) se muestra una lista de control, donde se visualiza un conjunto de factores, que dan lugar al análisis de inversión y que describen los criterios de atraktividad considerados; adaptados de Cárdenas (2013).

Tabla 1a. *Indicador de atraktividad: alineación estratégica*

ALINEACIÓN ESTRATÉGICA				
	Factor de Medición	Peso	Valor	Peso x Valor
1.	Valor en que la misión y visión de la empresa es reflejada por el proyecto	30%		
2.	Valor en que el proyecto sustente la fortaleza de la empresa	20%		
3.	Valor competitivo que el proyecto le da a la empresa	15%		
4.	Valor en que el proyecto aporta al crecimiento de la empresa	15%		
5.	Valor en que el proyecto apalanca otros proyectos ya en marcha	10%		
6.	Valor en que el proyecto prescribe su carácter multidisciplinario	10%		
Índice de atraktividad: Alineación estratégica		100%		

Tabla 1b. *Indicador de atraktividad: impacto económico*

IMPACTO ECONÓMICO				
	Factor de Medición	Peso	Valor	Peso x Valor
1.	Valor en que el proyecto conlleva a una reducción de costos significativo para la empresa	20%		
2.	Valor en que el proyecto genera beneficios económicos para la empresa	15%		
3.	Valor del VPN que el proyecto representa para la empresa	15%		
4.	Valor en que el proyecto es capaz de recuperar la inversión en el tiempo	15%		
5.	Valor en que el proyecto dado su tamaño, aporta a la capacidad de solvencia de la empresa	15%		
6.	Valor en que el proyecto aprovechas las oportunidades del mercado	10%		
7.	Valor en que el proyecto contribuye al crecimiento económico del país	10%		
Índice de atraktividad: Económico		100%		

Tabla 1c. *Indicador de atraktividad: diferenciación*

DIFERENCIACIÓN				
	Factor de Medición	Peso	Valor	Peso x Valor
1.	Valor en que el proyecto fomenta la estandarización tecnológica	20%		
2.	Valor en que el proyecto mejora la posición tecnológica y competitiva de la empresa	20%		
3.	Valor en que el proyecto promueve el desarrollo e innovación de los productos de la empresa	20%		
4.	Valor en el que proyecto potencia la eficiencia de los procesos existentes	20%		
5.	Valor en que el proyecto contribuye a controlar los aspectos ambientales significativos de la empresa.	10%		
6.	Valor en que el proyecto considera el desarrollo social de las comunidades adyacentes	10%		
Índice de atraktividad: Diferenciación		100%		

Tabla 1d. *Indicador de atractividad: esfuerzo*

<b>ESFUERZO</b>			
<b>Capacidad Operacional</b>		<b>Peso Dimensional 40%</b>	
Factor de Medición		Peso	Valor Total
1.	Valor en que el proyecto induce a cambios en los procesos llevados en la empresa	25%	
2.	Valor en que el proyecto requiere de capacitación y/o nuevas habilidades por el personal	25%	
3.	Valor en que el proyecto requiere otras inversiones predecesoras para ejecutarse	20%	
4.	Valor en que el proyecto afecta la continuidad operativa de la empresa durante su ejecución	15%	
5.	Valor en que el proyecto afecta las condiciones de seguridad del personal	15%	
Subtotal		100%	
Subíndice de atractividad: Operacional		Subtotal x Peso Dimensional	
<b>Capacidad Técnica</b>		<b>Peso Dimensional 40%</b>	
Factor de Medición		Peso	Valor Total
1.	Valor en que el proyecto requiere de madurez en la tecnología para su éxito	25%	
2.	Valor en que el tiempo de ejecución del proyecto afecta el horizonte de planeación estratégica	25%	
3.	Valor en que el proyecto demanda el desarrollo de nuevo proveedores	20%	
4.	Valor en que el proyecto demanda el desarrollo de nuevas unidades funcionales	15%	
5.	Valor en que el proyecto requiere mayor seguimiento estratégico	15%	
Subtotal		100%	
Subíndice de atractividad: Técnica		Subtotal x Peso Dimensional	
<b>Capacidad Legal</b>		<b>Peso Dimensional 20%</b>	
Factor de Medición		Peso	Valor Total
1.	Valor en que el proyecto incumple con los requerimientos legales aplicables a la empresa	40%	
2.	Valor en que el proyecto requiere que la empresa asuma nuevos compromisos legales	40%	
3.	Valor en que el proyecto conduce a cambios en leyes y/o reglamentos internos	20%	
Subtotal		100%	
Subíndice de atractividad: Legal		Subtotal x Peso Dimensional	
Índice de atractividad: Esfuerzo		$\Sigma$ Subtotal x Peso Dimensional	

En la tabla 2, se muestra la valorización de doce iniciativas de inversión (2018-2019) de una empresa de alimentos, en la ciudad de Valencia Venezuela; cuya valoración fue realizada por el Equipo de Planificación y Ejecución de Proyecto de dicha empresa, en ella se muestra el valor obtenido por cada proyecto en función del criterio de atractividad.

Tabla 2. *Indicador de atractividad por proyectos*

Proyecto	Estratégico	Económico	Esfuerzo	Diferenciación
Proyecto1	2,90	3,15	1,62	3,00
Proyecto2	3,80	3,80	1,80	3,50
Proyecto3	4,00	3,70	1,50	4,00
Proyecto4	2,00	2,55	2,68	2,20
Proyecto5	4,10	3,10	3,22	4,20
Proyecto6	2,30	4,10	1,00	3,50
Proyecto7	3,95	4,05	1,80	1,90
Proyecto8	3,55	3,30	1,96	4,00
Proyecto9	3,10	2,10	2,58	3,20
Proyecto10	2,80	3,10	1,96	2,50
Proyecto11	3,50	3,30	1,88	2,40
Proyecto12	3,55	4,00	2,02	2,90

La Figura 2, muestra un dendograma; que es un gráfico que representa los conglomerados mediante trazos horizontales y las etapas de la fusión mediante trazos verticales. La separación entre las etapas de la fusión es proporcional a la distancia a la que se están fusionando los proyectos en esa etapa (en una escala estandarizada de 25 puntos en SPSS©), el dendograma es un gráfico de gran utilidad para evaluar la homogeneidad de los conglomerados y

facilita enormemente la decisión sobre el número óptimo de conglomerados.

Las fusiones que se producen cerca del origen de la escala (izquierda) en el dendograma indican que el conglomerado formado es bastante homogéneo, por el contrario, las fusiones que producen en la zona final de la escala (derecha) indican que el conglomerado formado es bastante heterogéneo.

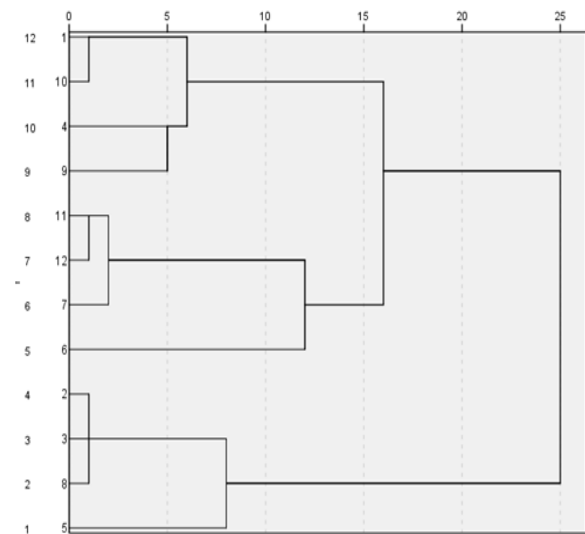


Figura 2. Dendograma, usando enlace de Ward. Combinación de clúster de distancia re-escalada

De ahí que, se pueden observar líneas verticales unidas al origen con líneas horizontales que permiten clasificar 3 conglomerados, estas fusiones ocurren a una distancia entre 0 y 15 de acuerdo las distancia re-escalada a las que se encuentran los clústeres, siendo la distancia mayor 19,358 de acuerdo con el histograma de conglomerado; ver tabla 3, correspondiente al valor 25 en la re-escala; que es la distancia en la que se da lugar a la última fusión en la etapa 11.

Tabla 3. *Historial de conglomeración*

Etapa	Clúster combinado		Coeficientes
	Clúster 1	Clúster 2	
1	1	10	0,189
2	2	3	0,384
3	2	8	0,706
4	11	12	1,088
5	7	11	1,705
6	4	9	2,916
7	1	4	4,354
8	2	5	6,331
9	6	7	9,322
10	1	6	13,268
11	1	2	19,368

El proyecto 1 y el proyecto 10 son los primeros en fusionarse (etapa 1), la distancia a la que se encuentra ambos proyectos viene dada por un coeficiente de 0,189 y a partir de ese momento constituyen el conglomerado 1 (fusión proyecto 1- proyecto 10) y son indivisibles en las etapas posteriores.

De acuerdo con la matriz de proximidad, tabla 4, se constata que los proyectos más

distantes entre sí son el proyecto 4 y proyecto 3 con una distancia de 3,155. Seguidamente el proyecto 6 y el proyecto 5 con una distancia de 3,108 y por último el proyecto 4 y el proyecto 5 con una distancia de 3,001. De ahí que, se eligen los centroides iniciales como muestra la tabla 5, valores corresponde a cada uno de los centroides por variable o criterio de atractividad. A partir de ellos se iniciará el proceso iterativo para reasignar los proyectos en función a la proximidad de estos con respecto a los centroides iniciales, tras la reasignación, se actualiza el valor del centroide. La tabla 6, resume el historial de iteraciones con indicación del desplazamiento experimentado por cada centroide en cada iteración. Puede observarse que conforme avanzan las iteraciones, el desplazamiento de los centroides se va haciendo más y más pequeño, hasta llegar a la tercera iteración, en la que ya no existe desplazamiento alguno.

Tabla 4. *Matriz de proximidad: Distancia Euclidiana*

Proyecto	Distancia Euclidiana											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,00	1,23	1,59	1,71	2,33	1,38	1,78	1,25	1,45	0,61	0,90	1,15
2	1,23	0,00	0,62	2,70	1,76	1,73	1,63	0,77	2,02	1,59	1,25	0,71
3	1,59	0,62	0,00	3,16	1,84	1,88	2,15	0,76	2,28	2,06	1,76	1,33
4	1,71	2,70	3,16	0,00	3,00	2,65	2,63	2,59	1,56	1,25	1,87	2,33
5	2,33	1,76	1,84	3,00	0,00	3,11	2,87	1,40	1,85	2,48	2,33	2,06
6	1,38	1,73	1,88	2,65	3,11	0,00	2,43	1,84	2,69	1,78	2,02	1,72
7	1,78	1,63	2,15	2,63	2,87	2,43	0,00	2,27	2,61	1,62	1,01	1,10
8	1,25	0,77	0,76	2,59	1,40	1,84	2,27	0,00	1,63	1,69	1,60	1,31
9	1,45	2,02	2,28	1,56	1,85	2,69	2,61	1,63	0,00	1,40	1,65	2,05
10	0,61	1,59	2,06	1,25	2,48	1,78	1,62	1,69	1,40	0,00	0,74	1,24
11	0,90	1,25	1,76	1,87	2,33	2,02	1,01	1,60	1,65	0,74	0,00	0,87
12	1,15	0,71	1,33	2,33	2,06	1,72	1,10	1,31	2,05	1,24	0,87	0,00

Tabla 5. Centro de clústeres iniciales,  $k=3$ 

Criterio	Clúster		
	1	2	3
Estratégico	2,30	2,00	4,10
Económico	4,10	2,55	3,10
Esfuerzo	1,00	2,68	3,22
Diferenciador	3,50	2,20	4,20

Tabla 6. Historial de iteraciones,  $k=3$ 

Iteración	Clúster		
	1	2	3
1	1,338	1,036	1,060
2	0,137	0,316	0,000
3	0,000	0,000	0,000

Por último, en la tabla 7 se muestran los proyectos asignados a los tres conglomerados previamente establecidos y las distancias euclidianas entre estos y los centroides finales.

Tabla 7. Clúster de pertenencia  $k=3$ 

Proyecto	Clúster	Distancia
1	1	0,742
2	1	0,798
3	3	0,811
4	2	0,815
5	3	1,060
6	1	1,440
7	1	1,195
8	3	0,437
9	2	0,896
10	2	0,716
11	1	0,686
12	1	0,480

Una vez finalizado el análisis de clúster  $k$ -media, fue posible obtener las características intrínsecas de cada uno de los tres conglomerados, deducidas a

través de los centros de clúster finales propios de los proyectos agrupados en cada uno de los tres conglomerados.

En la tabla 8, se muestra que el conglomerado 1 agrupa aquellos proyectos muy próximos en lo estratégico y económico en un nivel destacado; y que para ser llevados a cabo necesitan un menor esfuerzo de implementación, por lo tanto, su carácter diferenciado se ve impactado, a un nivel de destaque medio.

Tabla 8. Centro de clústeres finales,  $k=3$ 

Criterio	Clúster		
	1	2	3
Estratégico	3,33	2,63	3,88
Económico	3,73	2,58	3,37
Esfuerzo	1,69	2,41	2,23
Diferenciador	2,87	2,63	4,07

El conglomerado 2 agrupa también aquellos proyectos muy próximos en lo estratégico y económico con un nivel menos destacado que el conglomerado 1, con un mayor esfuerzo de implementación y el nivel diferenciador más bajo de los tres conglomerados.

El conglomerado 3 agrupa aquellos proyectos muy próximos en lo estratégico y económico con un nivel destacado, sin embargo, los proyectos acá sobresalen más en lo estratégico que lo económico a diferencia del conglomerado 1; tiene un nivel de esfuerzo medio que en conjunción con los dos primeros criterios de atractividad maximizan su nivel diferenciador, siendo

este el más alto de los tres conglomerados.

En relación a la distancia inter-clúster, (ver tabla 9), el conglomerado 1 y el 3 están más próximos entre sí, siendo el conglomerado 2 el más distante.

Tabla 9. *Distancias entre centros de clústeres finales k=3*

Clúster	1	2	3
1	0,000	1,544	1,473
2	1,544	0,000	2,065
3	1,473	2,065	0,000

Por lo tanto, es posible dar cabida a dos inferencias:

1. *Descartar el conglomerado 2; ya que está constituido por proyectos que en comparación con el resto no representan un valor significativo para la empresa en términos estratégicos ni económicos, el esfuerzo que se necesita para su implementación es el más alto y aun así no logran ser diferenciadores.*
2. *Evaluar si los conglomerados 1 y 3, en conjunto mejoran los criterios de atractividad, dado que, son semejantes en términos estratégicos y económicos; no obstante, el primero, disminuye el esfuerzo de implementación y así reduce su característica diferenciadora, el segundo aumenta el esfuerzo de implementación por debajo de la media, y consigue niveles altos de diferenciación.*

Tomando estas consideraciones, se tiene que el nuevo arreglo de clústeres de pertenencia para dos conglomerados queda como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. *Centro de clústeres finales, k=2*

Criterio	Clúster	
	1	2
Estratégico	2,63	3,52
Económico	2,58	3,61
Esfuerzo	2,41	1,87
Diferenciador	2,63	3,27

A través del análisis de clústeres de k-media se evidencia que si es posible que los conglomerados 1 y 3 se unan en un mismo grupo.

De hecho, el dendograma del análisis jerárquico en la Figura 1 entreveía que esa unión se podía lograr, dada las etapas cercanas de fusión. De modo que, se tiene finalmente un conglomerado 1 con características invariante del antiguo conglomerado 2 y un nuevo conglomerado 2 que agrupa aquellos proyectos muy próximos en lo estratégico y económico en un nivel destacado; y que para ser llevados a cabo necesitan un menor esfuerzo de implementación, con la salvedad que aumenta el nivel diferenciador del grupo de proyectos. En la tabla 11 se muestran los proyectos finales para los conglomerados 1 y 2.

En la tabla 12 se muestra la información relacionada al VPN de las iniciativas de proyectos en la empresa caso de estudio. Se sabe, esta tiene como fondos disponibles 150.000, 180.000 y 150.000 millones de bolívares para los periodos de los años 1, 2 y 3, respectivamente.

Tabla 11. Clúster de pertenencia  $k=2$

Proyecto	Clúster	Distancia
1	2	0,851
2	2	0,418
3	2	0,956
4	1	0,815
5	2	1,818
6	2	1,589
7	2	1,501
8	2	0,803
9	1	0,896
10	1	0,716
11	2	0,921
12	2	0,557

La solución al problema de PLEB muestra que, dado los desembolsos que realizará la empresa para llevar a cabo la

ejecución de proyectos con una longevidad de implementación de tres años sujeto a los fondos disponibles, los proyectos elegibles son: 1, 2, 5, 6, 7, 8, 11 y 12.

De acuerdo con el criterio de selección llevado a cabo por la empresa hasta ahora; técnica financiera: beneficio económico, los proyectos seleccionados para el portafolio de inversión, tomando en cuenta que, en esta oportunidad, no disponen del capital necesario para llevar a cabo las doce (12) iniciativas de inversión, son los siguientes proyectos elegidos para conformar el portafolio de proyectos de inversión, detallados en orden de prioridad: 2, 10, 6, 5, 12, 8.

Tabla 12. VPN Proyectos 2018-2019

Proyecto	VPN	VPN Proyectos 2018-2019		
		Año 1	Año 2	Año 3
Proyecto1	7.872	11.600	10.800	7.890
Proyecto2	21.434	23.500	28.600	21.600
Proyecto3	3.079	3.200	2.100	2.600
Proyecto4	291	7.500	5.600	9.600
Proyecto5	14.434	28.480	33.580	26.580
Proyecto6	18.827	22.784	26.864	21.264
Proyecto7	3.135	8.042	7.809	7.119
Proyecto8	169	750	560	960
Proyecto9	710	7.775	6.730	5.725
Proyecto10	19.867	25.664	28.754	23.604
Proyecto11	4.886	5.800	5.400	3.945
Proyecto12	12.557	48.416	57.086	45.186

Fuente: Empresa caso de estudio. Montos expresados en Millones de Bs.

Este portafolio tiene un VPN de 87.288 millones de bolívares, sin embargo, es oportuno también preguntarse ¿cómo estuvieron ponderados estos proyectos

en la tabla 2 de indicadores?, sobre el asunto, y asumiendo que el portafolio final debe diversificarse al menos en un tercio del conglomerado seleccionado y a

su vez estos deben representar al menos la media en rendimiento o efectividad respecto a los criterios de atractividad; se constata que los seis (6) proyectos seleccionado suman una efectividad de 50,14 puntos. Es claro observar que, con la técnica del VPN, la selección de proyectos se hará tomando el valor más significativo, hasta tanto el presupuesto lo permita.

En contraste, el portafolio establecido a través de la metodología propuesta, es más diversificado, consta de ocho (8) proyectos, el ahorro en el desembolso de capital es mayor, 628 millones de bolívares, 9.301 y millones de bolívares, 15.456 millones de bolívares para el año 1, año 2, y año 3 respectivamente. El valor de la eficiencia en los criterios de atractividad se ubicó en 66,55 puntos y representa una VPN de 83.314 millones de bolívares. Esto se debe a que el primer portafolio incluye el proyecto 10, excluido en el proceso de clasificación del análisis de clúster k-media; este proyecto tiene el segundo VPN más alto de todas las iniciativas propuestas, no obstante, en lo que respecta a su carácter estratégico y nivel diferenciador es de los más bajo, en consecuencia, el modelo propuesto, incluye el proyecto 1, proyecto 7 y proyecto 11 para aumenta la eficiencia de los criterios de atractividad en el portafolio apegándose a un VPN bastante cercano al obtenido con la técnica financiera. Finalmente, a título ilustrativo, se presenta un diagrama de proceso, para la aplicación de la

metodología propuesta, es válido aclarar que el levantamiento de indicadores está sujeto a la visión, misión y objetivos estratégicos de la empresa, por lo que, será modificable cuando alguna de esas premisas cambie.

En este sentido, se entiende que los indicadores levantados en esta investigación están apegados a la razón de ser de la empresa caso de estudio, sin embargo, la técnica utilizada puede ser implementada por cualquier otra organización que desea identificar sus indicadores, partiendo de allí, se presenta en la Figura 3 una metodología para la selección del portafolio de proyectos de inversión. Al mismo tiempo, se identifica a continuación cuál es la información de entrada que alimenta el modelo propuesto:

1. Misión, visión, objetivos, estrategias, valores, metas organizacionales, necesario para levantar indicadores, con la finalidad de poder ponderar los criterios de atractividad.
2. Lista de iniciativas, donde se detalla; nombre del proyecto, factibilidad, madurez, categoría del proyecto operacional, técnico, legal, así como también ambiental y social si lo amerita.
3. Análisis financiero de tipo, valor actual, tasa interna de retorno, relación beneficio – costo.
4. Tipo de relación del proyecto: independiente, el problema de PLEB carece de restricciones para proyectos excluyentes y contingentes.
5. Nivel de riesgo del proyecto.

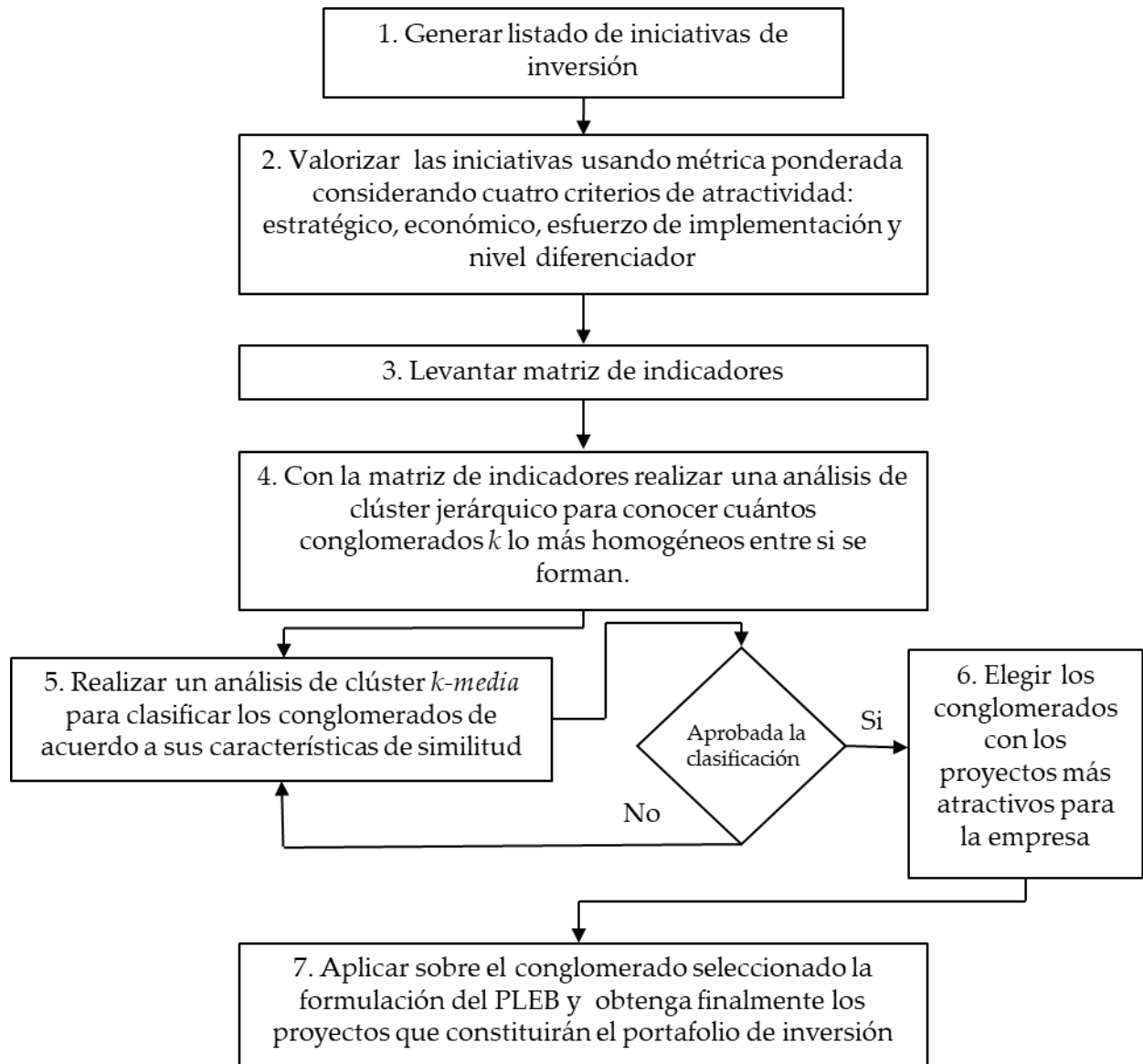


Figura 3. Diagrama de proceso para la implementación de la metodología propuesta

Si se desea rediseñar los criterios de selección para el análisis de clúster, dado que la misión y la visión de la empresa ha cambiado, procurar no exceder el número de criterios. Los resultados obtenidos pudieran ser poco fiables en los casos donde se trabaja con muchas variables. El análisis de clúster es descriptivo, no

inferencial, se utiliza habitualmente como una técnica exploratoria, las soluciones dependen de las variables consideradas y del método empleado para el análisis. Además, puede ser de gran valor realizar un test estadístico de significancia, para verificar cuán diferente son los conglomerados formados, a través de un

análisis de varianza, que puede ser univariado o multivariado, que indica si las medidas de los grupos en una variable (o con todas las variables) son o no significativamente diferentes. Por último, y en referencia a la maximización de función objetivo formulada en el problema de

PLEB, es importante aseverar que las restricciones planteadas responden al contexto actual de la empresa caso de estudio, no obstante, a medida que este cambie, es posible incluir otras restricciones propias de la dinámica presente en la empresa.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que, dado los proyectos casos de estudio, fue posible a través del análisis de clúster conocer los dos grupos más homogéneos intra-clúster, proporcionándole al panel decisor al menos dos grandes escenarios en los que pudiera evaluar las necesidades de inversión y a partir de allí considerar cualquier otro método, que le facilitará el proceso de priorización de proyecto; el análisis de clúster funge como un importante herramienta para apoyar el proceso de toma de decisiones pero no es excluyente. Por ello se completó el modelo con PLEB, la función objetivo maximizó el VPN del portafolio de inversión constituido, sujeto a restricciones fundamentales como, recursos financieros, diversificación y rendimiento.

La metodología propuesta, sólo vaticina impulsar aquellos proyectos que necesita la empresa en el momento histórico que vive sin dejar a un lado la maximización del valor de sus acciones, con el mayor número de proyectos a ejecutar; aun cuando el

riesgo no se puede diversificar totalmente, hay que tener claro que este se disminuye al diversificar el portafolio. Es a través de un portafolio de inversión que se logra manejar adecuadamente los excedentes generados de capital y es deseable que este se construya con diversos proyectos cuya correlación entre ellos no sea alta, generando mayor rentabilidad con el menor riesgo posible.

Al mismo tiempo, es importante afirmar que la metodología presentada en este trabajo, se orienta a empresas con un alto impacto en el volumen de negocio y de persona, es decir, con capacidad de inversión para introducirse en el competitivo y globalizado mundo empresarial. En las pequeñas y medianas empresas (PYME), el proceso de toma de decisiones para la selección de proyectos de inversión presenta características particulares, básicamente orientado sólo a considerar la rentabilidad económica de los mismos. Por lo que, la metodología propuesta menoscaba la naturaleza de las mismas.

## REFERENCIAS

- Beltrán, J. (2005). *Indicadores de Gestión. Herramientas para lograr la Competitividad*, 2ª edición. Bogotá: Editorial 3R Editores.
- Bitman, W.R., y Nawaz Sharif. (2008). A Conceptual Framework for Ranking R&D Projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 55 (2), 267–278. <https://doi.org/10.1109/TEM.2008.919725>
- Blanco, M. et al (2017). Optimización de portafolio de proyectos a través de la aplicación de programación lineal y el CAPM. *Revista Ciencias Estratégicas*, 25 (37), 71-86. <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/8002>
- Cárdenas, G. (2013). *Formulación de un modelo para la selección y priorización de un portafolio de proyectos en una empresa de laminación de aluminio de bajo espesor. Caso de estudio: CVG. Aluminio de Carabobo, S.A.* [Tesis en Línea]. Universidad de Carabobo, Venezuela. <https://goo.gl/C8UL0f>
- Coldrick, S.; Longhurst, P.; Ivey, P. y Hannis, J. (2005). An R&D options selection model for investment decisions. *Technovation*, 25 (3), 185–193. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(03\)00099-3](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(03)00099-3)
- Cooper, R.; Edgett, S. y Kleinschmidt, E. (1999). New product portfolio management: practices and performance. *Journal of Product Innovation Management*, 16(4), 333–351. [https://doi.org/10.1016/S0737-6782\(99\)00005-3](https://doi.org/10.1016/S0737-6782(99)00005-3)
- Cuadras, C. M. (2007). *Nuevos métodos de análisis multivariante*. Barcelona: CMC editions.
- Dutra, R., Sperandio, M. y Coelho, J. (2004). O método ward de agrupamento de dados e sua aplicação em associação com os mapas auto-organizáveis de Kohonen. *Workcomp Sul*, Florianópolis.
- Huang, C.; Chu, P. y Chiang, Y. (2008). A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection. *Omega*, 36(6), 1038–1052. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2006.05.003>
- Mathieu, R. y Gibson, J. (1993). A methodology for large-scale R&D planning based on cluster analysis. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 40 (3), 283–292. <https://doi.org/10.1109/17.233190>
- Mohanty, R.; Agarwal, R.; Choudhury, A. y Tiwari, M. (2005). A fuzzy ANP-based approach to R&D project selection: a case study. *International Journal of Production Research*, 43(24): 5199–5216. <https://doi.org/10.1080/00207540500219031>
- Pérez, J. (2012). *Método para la Selección y Priorización de Portafolios de Proyectos de I+D+i en el Contexto Institucional de un Centro de Desarrollo Tecnológico en Colombia* [Tesis en Línea]. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín, Colombia. <https://shorturl.at/qOPT>
- PMI. (2013). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos. Project Management Institute. (5ta Edition)*. Pensilvania: PMI.
- Rugsdale, C. (2010). *Spreadsheet modeling and decision analysis. 6a ed.* Cincinnati: SouthWestern College Publishing Co.
- Ruz, J.J. (2017). *Introducción a la Programación Matemática, Máster en Ingeniería de Sistemas y de Control*. Curso (2010/2017). Universidad Complutense de Madrid. <https://goo.gl/s8dZ0z>
- Saiz, M.; Lostumbo, M.; Juan, A. y Lopez-Lopez, D. (2021). A clustering-based review on Project portfolio optimization methods. *International Transactions in Operational Research*, <https://doi.org/10.1111/itor.12933>
- Santana, O. (1991). El Análisis de Clúster: aplicación, interpretación y validación. *Revista*

de sociología, 37, 65-76. Useches, M. (2016). *Modelo integral para la priorización de portafolios de proyectos* [Tesis en Línea]. Universidad EAFIT. <https://doi.org/10.5565/rev/papers/v37n0.1596> [goo.gl/38zP8J](http://goo.gl/38zP8J)

#### **Autores**

**Argenis López Ollarbez.** Licenciado en Física, Magister en Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo, Venezuela. Investigador-Colaborador, Modelado y Simulación Facultad de Ciencia y Tecnología «FACyT», Universidad de Carabobo, Venezuela.

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2605-685X>

**Email:** [argenis.296@gmail.com](mailto:argenis.296@gmail.com)

**Ezequiel Gómez Abreu.** Ingeniero Industrial Universidad de Carabobo, Magister en Ingeniería Industrial, Universidad de Carabobo, Venezuela. Docente Investigador, Departamento de Ingeniería de Métodos, Escuela de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6495-3247>

**Email:** [ezebarines@gmail.com](mailto:ezebarines@gmail.com)

**Recibido:** 31-01-2021

**Aceptado:** 25-06-2021