

# Optimización de portafolio de proyectos a través de la aplicación de programación lineal y el CAPM

Optimization of project portfolio through the application  
of linear programming and CAPM

Otimização de portfolio de projetos através da aplicação  
de programação lineal e o CAPM

DOI: rces.v25n37.a5

Recibido: 01/04/2015

Aceptado: 01/10/2015

## María Alejandra Blanco Murillo

Ingeniera Industrial, Facultad de Ingeniería. Universidad Militar  
Nueva Granada, Bogotá, Colombia.

Correo electrónico: u2902046@unimilitar.edu.co

## Fernando Andrés Muñoz Peña

Doctorando en Administración de negocios de la Universidad Católica del Perú.  
Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada.  
Grupo de Investigación PIT, Bogotá, Colombia.

Correo electrónico: Fernando.munoz@unimilitar.edu.co

## Óscar Palacio León

Doctorando en Proyectos de la Universidad Internacional Iberoamericana.  
Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada.  
Grupo de Investigación PIT, Bogotá, Colombia.

Correo electrónico: oscar.palacio@unimilitar.edu.co

## Optimización de portafolio de proyectos a través de la aplicación de programación lineal y el CAPM

### Palabras clave

Optimización de portafolio, proyectos, programación lineal, valor presente neto, VPN, CAPM.

### Resumen

El propósito de este artículo es aplicar un modelo de optimización lineal sobre un portafolio de diecisiete proyectos a nivel agroindustrial con restricción de inversión, con el fin de maximizar el retorno hacia el inversor. Los conceptos descritos en este artículo han sido producto de la investigación de diferentes modelos de selección de alternativas de inversión a partir del análisis de portafolios de proyectos y de aquellos a través de los cuales es posible calcular la tasa de descuento, como en el caso del modelo CAPM. Al hablar de la optimización del portafolio de proyectos, se entiende que a través de distintos modelos matemáticos se encontrará una combinación que maximizará los beneficios, y es bajo esta premisa que el artículo presenta una vía en la elección de alternativas de inversión con determinación de la tasa de oportunidad para el *stakeholder*. De igual manera, el artículo provee una vía estructurada y técnica que permite maximizar la asignación de dinero del inversionista en la selección de aquellas alternativas que le generen el mayor grado de rentabilidad.

**Clasificación JEL:** G11, M2, O22

## Optimization of project portfolio through the application of linear programming and CAPM

### Keywords

Portfolio optimization, project, portfolio, linear programming, Net Present Value, Capital Asset Pricing Model

### Abstract

The purpose of this article is to apply a linear optimization model on a portfolio of seventeen agro-industrial projects with investment restriction level in order to maximize the return to the investor. The concepts described in this article are the result of research of different models of selection of investment alternatives based on the analysis of project portfolios and of those through which it is possible to calculate the discount rate, such as the capital asset pricing model (CAPM). By optimization portfolio of projects, it is understood that through different mathematical models, a combination will be found that maximizes profits, and is under this premise that the article presents a way of choosing investment alternatives with rate determination opportunity for the stakeholder. Similarly, the article provides a structured and technical way that maximizes the allocation of the investor's money in selecting alternatives that will generate the highest level of profitability.

## Otimização de portfolio de projetos através da aplicação de programação lineal e o CAPM

### Palavras-chave

Otimização de portfolio, projetos,  
programação lineal, Valor Presente Neto,  
VPN, CAPM.

### Resumo

O propósito deste artigo é o de aplicar um modelo de otimização lineal sobre um portfolio de dezessete projetos a nível agroindustrial com restrição de investimentos com o fim de maximizar o retorno ao investidor; Os conceitos descritos neste artigo foram produto da investigação de diferentes modelos de seleção de alternativas de investimentos a partir da análise de portfolios de projetos e de aqueles através dos quais é possível calcular a taxa de desconto como é o caso do modelo CAPM. Ao falar de otimização de portfolio de projetos, se entende que através de distintos modelos matemáticos se encontrará uma combinação que maximizará os benefícios, e é sob esta premissa que o artigo apresenta uma via na eleição de alternativas de investimento com determinação de taxa de oportunidade para o stakeholder. Da mesma forma o artigo fornece uma via estruturada e técnica que permite maximizar a designação de dinheiro do investidor na seleção daquelas alternativas que lhe gerem o maior grau de rentabilidade.

## Introducción

En el interior de todo tipo de organización se gestan diversos proyectos de inversión, algunos enfocados en alcanzar los objetivos estratégicos trazados por la alta dirección y otros derivados de situaciones no pronosticadas o proyectadas, pero que se vuelven de necesario cumplimiento. Es común que la administración y la gestión de estos proyectos se tornen difíciles al tener que categorizar los proyectos según su alcance, los recursos a emplear, los impactos generados, y hasta por los actores involucrados. En ese sentido, la optimización de portafolios de proyectos es una vía importante que asegura una asignación adecuada de los recursos, una priorización adecuada de los proyectos y un manejo eficaz del tiempo y el dinero, disminuyendo el riesgo y aumentando la eficiencia del capital, de manera que se garantice que los proyectos que estén en proceso de ejecución estén alineados con los objetivos estratégicos de la compañía y contribuyan a cumplir con los intereses principales de la misma, generando de esta manera la rentabilidad deseada y, adicionalmente, valor para la organización.

Para poder comprender la magnitud y la importancia de la implementación de la optimización de portafolios de proyectos en una compañía, se cita a Ghasemzadeh y Archer, quienes manifiestan que "la selección de la cartera de proyectos es una decisión crucial en muchas organizaciones, que deben tomar decisiones informadas sobre la inversión, donde la distribución adecuada de la inversión es compleja,

debido a diferentes niveles de riesgo, necesidades de recursos, e interacción entre los proyectos propuestos" (GHASEMZADEH & ARCHER, 2000). De esta manera se hace evidente que la optimización de la cartera de proyectos, además de ser una herramienta que busca maximizar el beneficio económico para la empresa, definiendo los proyectos de inversión a ejecutar, también permitirá seleccionar los proyectos que representen menos riesgos de inversión y garantizará el aprovechamiento óptimo de los recursos.

Con este documento se busca proponer una guía en la optimización de los portafolios de proyectos, proporcionando pautas y pasos clave a seguir para conseguir implementar esta metodología en una compañía.

## 1. Proyectos agrícolas en Colombia

Es indudable el problema alimentario que se está gestando a nivel mundial. De acuerdo con informes de la FAO, la producción agrícola mundial ha llegado a su máximo nivel y se espera que para los años venideros la producción tienda a disminuir. Esto podría ocasionar un desabastecimiento a nivel mundial, por lo que se requieren políticas urgentes que aseguren la disponibilidad de alimentos. El director de la FAO afirmó que para el año 2050 la agricultura deberá suministrar alimentos para tres mil millones de personas adicionales, lo que implica duplicar el área agrícola mundial, pero no bajo modelos de sobreexplotación, sino a partir de modelos de consumo y producción sostenibles<sup>1</sup> (COMISIÓN EUROPEA, 2010).

1 El consumo y la producción sostenibles consisten en hacer un uso más eficiente de los recursos naturales y de la energía, además de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y otras consecuencias medioambientales.

Según cifras oficiales del IGAC (2012), del área total potencial para agricultura agrícola, Colombia solo utiliza el 24%, es decir, el país posee una ventaja de capacidad asociada a su diversidad climática que puede consolidarlo como fuente de seguridad alimentaria (PERFETTI, BALCÁZAR, HERNÁNDEZ, & LEIBOVICH, 2013), y esto beneficiaría indudablemente la posición del país como fuente o despensa alimentaria mundial ya que, a diferencia de otros países, Colombia posee una marcada vocación agrícola que infortunadamente hasta el momento ha sido muy poco utilizada y explotada. Es claro que el país no es potencia a nivel de explotación de petróleo y la minería genera una huella o un impacto ambiental elevado, mientras que los niveles de inversión y de desarrollo en el sector agrícola son muy pobres.

De acuerdo con (ESTRADA & LEIBOVICH, 2009), algunos de los cuellos de botella o restricciones que presenta el sector agrícola en Colombia son los problemas de financiamiento, el bajo retorno privado, el pobre desarrollo y la pobre difusión tecnológica, la deficiente infraestructura de transporte y riego, y la falta de acceso de mercados externos, entre otros. Este tipo de dificultad es descrita igualmente por (JUNGUITO, PERFETTI, & BECERRA, 2014), ya que según cifras del WDI del Banco Mundial, la agricultura colombiana pasó de una contribución del 25% del PIB en 1965 a un 6% en el 2012. Esta problemática global en el campo colombiano ha generado niveles deficientes de competitividad y desarrollo, ya que si un inversionista analiza este panorama puede inferir varias situaciones: a) bajos o mínimos retornos de inversión, b) tasas de riesgo elevadas e c) inestabilidad. Lo anterior se convierte en un detonante que retrasa las inversiones en el campo, y sumado a este gran factor, se puede encontrar que para el año 2016 el presupuesto general de la nación dirigido al agro descenderá considerablemente al pasar de un presupuesto de 3,9 billones en el 2015 a uno de 2,4

billones en el 2016; esto puede traer como consecuencia un retroceso en los ya escasos niveles de avance en el sector. Pero lejos de querer elaborar un artículo rigurosamente crítico y hasta destructivo, lo que se plantea es una mirada con perspectiva de oportunidades para el sector.

## 2. Marco teórico

### Proyectos de inversión

Se hace necesario, en principio, contextualizar al lector con la definición de un proyecto de inversión. Algunas definiciones propuestas por diferentes autores se presentan a continuación:

“Serie de acciones conducentes a lograr objetivos de bienestar bien sea para una persona natural o jurídica, o para una comunidad independientemente del número de personas que la conformen” (GHASEMZADEH & ARCHER, 2000).

“Conjunto de estudios mediante los cuales se formaliza una idea de negocios que tiene por objeto implementar la producción de un bien o servicio y resolver una necesidad humana” (COMISIÓN EUROPEA, 2010), este último posee una especial importancia, ya que a partir de la elaboración de planes de negocio, los inversionistas determinan aquellos que mejor prospectiva posean en términos de rentabilidad.

“Conjunto único de actividades coordinadas, con puntos claros de salida y llegada, llevado a cabo por una persona u organización para alcanzar los objetivos específicos dentro de un calendario definido, y parámetros de coste y rendimiento” (PERFETTI, BALCÁZAR, HERNÁNDEZ, & LEIBOVICH, 2013).

Con base en estas definiciones, es posible construir una aproximación al concepto de proyecto como un conjunto o grupo de actividades delimitadas en un marco de tiempo, ejecutadas por un grupo de personas, orientadas a alcanzar uno o varios objetivos específicos que satisfagan necesidades o mejoren unas condiciones dadas.

Un proyecto se caracteriza principalmente por ser temporal y único. Se dice que es temporal ya que su alcance está limitado por los objetivos planteados, además de que tiene un tiempo establecido de ejecución, delimitado por un cronograma de actividades, que establece su inicio y su fin. Su cualidad de único se debe a que los objetivos deben estar enfocados en satisfacer una necesidad específica y proporcionar un beneficio para un grupo, una compañía o una comunidad puntal, por lo que no es posible tener dos o más proyectos iguales, sino que cada proyecto deberá tener una caracterización específica. Adicionalmente, las empresas deben centrarse en la alineación de la gestión de proyectos con su estrategia de negocio, con el fin de tener una dirección general con éxito de la estrategia y de los proyectos (ESTRADA & LEIBOVICH, 2009).

## Portafolio de proyectos

Para proporcionar un marco conceptual con respecto al concepto de portafolio de proyectos, se presentan a continuación las definiciones expresadas por diferentes autores en el marco general de la optimización de portafolios:

“Colección de proyectos y/o programas y otros trabajos que se agrupan juntos para facilitar la gestión efectiva de ese trabajo para alcanzar los objetivos estratégicos del negocio. [...] Los componentes de la cartera son cuantificables: pueden medirse, cla-

sificarse y priorizarse” (JUNGUITO , PERFETTI, & BECERRA, 2014).

“Conjunto de proyectos que una organización genera, ejecuta y administra simultáneamente en un momento dado” (PALACIO, 2010).

“Conjunto de proyectos o programas y otros trabajos que se agrupan (conjuntamente) para facilitar la gestión efectiva del trabajo con el fin de lograr (satisfacer) los objetivos estratégicos del negocio. Los proyectos o programas no necesariamente tienen que ser interdependientes o estar directamente relacionados” (HAMILTON, 2005).

A partir de las definiciones mencionadas anteriormente, se define portafolio o cartera de proyectos como la agrupación de proyectos y/o programas que una organización ejecuta paralelamente o en secuencia, de manera tal que su control y su administración sean más claros y precisos, y que contribuyan a la consecución de los objetivos estratégicos de la organización y a los procesos misionales de la compañía, ya que cada uno de ellos implica tiempo, costos y objetivos.

## Gestión de portafolios de proyectos (PPM)

Los portafolios de proyectos se convierten en una manera de facilitar el manejo de un conjunto de proyectos, por esta razón es importante tener claro el concepto de gestión de portafolios de proyectos, ya que con base en este se establecerán los aspectos del portafolio a optimizar.

Es necesario partir de un marco teórico que permita contextualizar la gestión del portafolio de proyectos. De acuerdo con (BRITISH STANDARD INSTITUTE, 2000), son un conjunto de prácticas empresariales

que trae el mundo de los proyectos en una integración estrecharon otras operaciones comerciales. Esta proporciona armonía entre los proyectos y las estrategias, recursos y supervisión ejecutiva de la compañía, y provee una estructura y procesos para la priorización de los portafolios de proyectos.

La supervisión ejecutiva se genera ya que, en sí mismo, el portafolio representa la estrategia de la organización jerarquizada de diferente manera, y este mismo tipo de supervisión se hace necesario ya que según (ALSUDIRI, AL-KARAGHOULI, & ELDABI, 2013), esta gestión de portafolios se convierte en un proceso de toma de decisiones dinámico, a través del cual una lista de proyectos activos de nuevos productos (y desarrollo) de una compañía es constantemente actualizada y revisada, ya que estos proyectos pueden darse en diferentes lugares.

El problema de la cartera de selección de proyectos (PPSP por sus siglas en inglés) es uno de los más críticos en el campo de la gestión de proyectos, la gestión financiera, la gestión de riesgos y la inversión, que ha sido el tema discutido por muchos investigadores durante más de sesenta años (Asociación española de dirección integrada de Proyectos, 2015).

En este orden de ideas el British Standard Institute (2000) propone cinco objetivos clave que deben ser atendidos por la gestión de portafolios para garantizar el impacto en las organizaciones:

- Determinar una mezcla viable de proyectos
- Monitorear y planear una ejecución de todos los proyectos en el portafolio
- Analizar el desempeño del portafolio y las formas de mejorar el ROI (retorno de la inversión)
- Evaluar nuevas oportunidades de proyectos
- Proveer información y recomendaciones a la junta directiva

No obstante esta mención de los cinco objetivos, es necesario incorporar el aspecto de la generación de valor corporativo, que no solo es visto a través del ROI, pues este tipo de análisis realizado en prospectiva debe asegurar la sostenibilidad de la empresa en el tiempo, y adicionalmente cada proyecto y el mismo portafolio deben incorporar la gestión de riesgo como medida necesaria de confianza.

### Optimización de portafolios de proyectos

La optimización del portafolio de proyectos es un método analítico que tiene como propósito maximizar la productividad y la alineación de los proyectos con los objetivos y capacidades de la organización. De acuerdo con el Premio Nacional de Tecnología e Innovación, el éxito en un portafolio de proyectos incluye las siguientes dimensiones: (1) el éxito del proyecto promedio, (2) el éxito producto medio, (3) el uso de las sinergias, (4) el ajuste estratégico, (5) el saldo de la cartera, (6) que se preparan para el futuro, y (7) el éxito económico, es decir, el nivel sobre el cual se mide un portafolio de proyectos puede trascender el solo concepto de rentabilidad y abarcar conceptos diversos; sin embargo, hoy día aún los inversionistas requieren ver que sus inversiones generan los niveles de rentabilidad requeridos.

De acuerdo con Dickinson, Thornton y Graves, la gestión de portafolios debe cumplir con los siguientes objetivos: maximizar el valor del portafolio, proveer un balance y apoyar la estrategia de la compañía. Los mismos autores proponen herramientas que facilitarán la evaluación del balance entre el riesgo y la recompensa de las inversiones de cada proyecto. Estas herramientas se clasifican en programación matemática, clásica y mapeo (Project Management Institute, PMBOK GUIDE, PMI, 2004). Sin embargo,

independientemente de la herramienta optimizadora a trabajar, es necesario incluir la gestión de riesgos como variable de análisis en los portafolios.

El doctor Harvey Levine, en su libro *Project Portfolio Management*, plantea siete pasos a seguir para lograr hacer de la metodología AHP (*analytic hierarchy process*) un sistema de apoyo en la toma de decisiones relacionadas con la PPM.

A continuación se mencionan los siete pasos propuestos:

PASO 1: Gobernanza del portafolio de proyectos.

PASO 2: Alineamiento estratégico del portafolio de proyectos.

PASO 3: Evaluación del portafolio de proyectos.

PASO 4: Optimización y balance del portafolio de proyectos.

PASO 5: Evaluación de riesgos y pronóstico del portafolio de proyectos.

PASO 6: Gestión de la ejecución del portafolio de proyectos.

PASO 7: Medición del desempeño del portafolio de proyectos.

## Referentes teóricos

Los doctores David Ullman y Harvey Levine, en su artículo "Five Key Decisions for Portfolio Optimization", proponen cinco decisiones clave que se deben tener en cuenta a la hora de optimizar el portafolio de proyectos. A continuación se mencionan los pasos propuestos (ROLLINS & KENDALL, 2003):

1. Decidir iniciativas estratégicas, beneficios y criterios de limitación de recursos a utilizar para filtrar los proyectos y la clasificación del portafolio.

2. Decidir qué criterio es más importante alcanzar.
3. Decidir cuáles ideas de proyectos o necesidades vale la pena desarrollar en casos empresariales.
4. Decidir cuáles casos empresariales deberían ser considerados como parte del portafolio.
5. Decidir cuáles proyectos incluir dentro del portafolio.

Por su parte, los doctores Ghasemzadeh y Archer, en el artículo "Project portfolio selection through decision support", definen dos fases principales para conseguir la selección óptima del portafolio. La primera fase aplica únicamente cuando los proyectos están caracterizados por múltiples funciones objetivo. Esta es utilizada para integrar múltiples objetivos en una sola función objetivo, que representa el valor relativo de cada proyecto y funciona como entrada a la segunda fase. Si los proyectos tienen un único objetivo, como el valor presente neto o el valor presente neto esperado, esta se puede introducir directamente en la segunda fase. Cuando hay múltiples objetivos, sugerimos que los objetivos se aproximen a funciones de valor agregado, utilizando los valores esperados como reemplazos de certeza cuando sea necesario para los elementos estocásticos. La descomposición de tales objetivos requiere el supuesto de independencia de mutua preferencia. Cualquier característica de riesgos relacionados no se descarta, pero se lleva adelante como atributo para ser utilizado en el equilibrio de riesgo de la cartera en la etapa de ajuste final (LEVINE, 2005).

En el documento "Technology Portfolio Management: Optimizing Interdependent Projects Over Multiple Time Periods" de Dickinson, Thornton, y Graves se plantean dos alternativas diferentes para optimizar proyectos interdependientes en distintos periodos de tiempo. El primero de ellos es una "matriz de dependencia, que fue desarrollado para documentar y cuantificar las interdependencias entre las propues-



tas de proyectos. La matriz es un método escalable y flexible y permite una cartera para ser evaluados por un periodo único o en varios períodos.

La segunda herramienta es un modelo de optimización basado en la hoja de cálculo que integra las herramientas existentes de la Junta de Gestión de Portafolios en un programa no lineal, de enteros. El modelo incorpora datos de la Matriz de Dependencia y el rendimiento financiero estimado para calcular directamente el rendimiento general de cualquier cartera". (DICKINSON, THORTON, & GRAVES, 2004) Los datos de entrada del modelo de optimización

están compuestos por tiempo, costo del portafolio, ingresos del portafolio, probabilidad de éxito, objetivo estratégico, relación riesgo/recompensa Project Management Institute, PMBOK GUIDE, PMI, 2004).

## Programación lineal

Vélez en 2006 plantea el uso de modelos lineales para administrar un portafolio de alternativas de inversión. En este artículo se trabaja con un modelo de programación lineal entera binaria, el cual se describe en forma genérica a continuación:

$$F.O. \therefore \text{Max} Z = \sum_{i=1}^{i=n} C_i Y_i \quad (1)$$

$$\text{Primer juego de restricciones} \therefore \sum_{i=1}^{i=n} b_{ij} x_i \leq B_j \quad (2)$$

$$\text{Segundo juego de restricciones} \therefore \sum_{i=1}^n Y_i + 1 \leq n \quad (3)$$

$$\text{Tercer juego de restricciones} \therefore \sum_{i=1}^n Y_i = 1 \quad (4)$$

$$\text{Cuarto juego de restricciones} \quad (5)$$

$$\therefore 1 - (Y_1 + Y_2 + Y_3) \leq Mz ; 2 - (Y_2 + Y_4 + Y_5 + Y_6) \leq M(1-z) \quad (6)$$

$$\text{Quinto juego de restricciones} \therefore Y_i = Y_{i+1} \quad (6)$$

$$\text{Restricciones de no negatividad} \therefore X_i \geq 0 \quad (7)$$

$$\text{Restricciones de tipo binaria} \therefore Y_i = 1, 0 \quad (8)$$

Dónde: i) Las  $X_i$  son las variables de decisión que representan cualquier tipo de actividad inherente con los proyectos; ii) Las  $B_j$  son las limitantes de los recursos escasos que posee el sponsor para atender el portafolio de inversiones; iii) Las  $b_{ij}$  son los coeficientes tecnológicos que relacionan las variables de decisión con el recurso escaso que posee el sponsor para atender el portafolio de inversiones; y iv) Las  $C_i$  representan los valores presentes netos (VPN) de cada proyecto que hace parte del portafolio de inversiones a configurar para el sponsor. Por su parte, el segundo juego de restricciones se puede implementar cuando el sponsor no desea desarrollar en forma simultánea todos los proyectos que conforman el portafolio de inversiones, con referencia al tercer juego de restricciones su empleo es conveniente para elegir proyectos mutuamente excluyentes, asimismo el cuarto juego de restricciones se deberá utilizar cuando se desea seleccionar del portafolio de inversiones únicamente proyectos independientes, y para seleccionar proyectos complementarios de un paquete de alternativas de inversión se recomienda el quinto juego de restricciones.

Esta estrategia se puede aplicar para resolver problemas de selección de proyectos independientes e indivisibles cuando hay racionamiento de capital. Antes de utilizar este procedimiento se recomienda examinar el problema para eliminar proyectos que claramente no sean factibles (Jafarzadeh, Tareghian, Rahbarnia, & Ghanbari, 2015), los cuales se pueden resolver mediante aplicaciones computacionales como Lindo, GAMS, entre otros.

## CAPM (Capital Asset Pricing Model)

El modelo de valuación de activos de capital o modelo de equilibrio de activos financieros, mejor conocido como CAPM (por su denominación en inglés, Capital

Asset Pricing Model), fue desarrollado por Sharpe (1964) y Litner (1965). Ambos basaron sus estudios en las investigaciones realizadas por Markowitz y Tobin (1960), quienes afirmaron que todos los inversionistas seleccionan sus carteras a través del criterio media-varianza.

El objetivo del modelo es cuantificar e interpretar la relación que existe entre el riesgo y el rendimiento, porque a través de esta relación lineal se puede establecer el equilibrio de los mercados financieros (Teller, 2013).

Modelo según el cual en un mercado eficiente, el rendimiento esperado de cualquier activo o valor, deducido según el precio al que se negocia, es proporcional a un riesgo sistemático. Cuando mayor es dicho riesgo, definido por su sensibilidad a los cambios en los rendimientos del conjunto del mercado, es decir, el coeficiente beta, mayor es la prima de riesgo exigida por las inversiones y mayor es, por lo tanto, su rendimiento. La teoría implica que, por medio de la diversificación, se puede reducir la parte no sistemática del riesgo total de una cartera, mientras que el riesgo sistemático, determinado por el propio mercado, es imposible de reducir. (Jafarzadeh, Tareghian, Rahbarnia, & Ghanbari, 2015)

La relación de equilibrio que describe el CAPM es:

$$E(r_i) = r_f + \beta_{im} (E(r_m) - r_f) \quad (10)$$

Donde:

$E(r_i)$  Es la tasa de rendimiento esperada de capital sobre el activo  $i$ .

$E(r_m)$  Es el rendimiento esperado del mercado.

$E(r_m) - r_f$  Es la prima por riesgo de mercado o el exceso de rentabilidad sobre la tasa libre de riesgo del portafolio de mercado.

$r_f$  Rendimiento de un activo libre de riesgo.

$\beta_{im}$  Es el beta (cantidad de riesgo del Activo i con respecto al Portafolio de Mercado), dado por:

$$\beta_{im} = \frac{Cov(r_i, r_m)}{Var(r_m)} \quad (11)$$

$\beta_{im}$  =Covarianza del activo i con el portafolio de mercado/varianza del portafolio de mercado

### Coeficiente Beta

El coeficiente de riesgo beta se interpreta como la sensibilidad del rendimiento del activo i ante las variaciones en el rendimiento de la cartera de mercado. La estimación del parámetro beta, según el CAPM se realiza por medio de una regresión lineal por mínimos cuadrados entre los retornos de un activo i contra los retornos de la cartera de mercado.

El modelo de mercado que se usa para calcular el coeficiente beta es:

$$R_{it} = \alpha_i + \beta_i R_{mt} + e_{it} \quad (12)$$

Donde:

$R_{it}$  Es el retorno del activo i en el tiempo t.

$R_{mt}$  Es el retorno del mercado en el tiempo t.

$\beta_i$  y  $\alpha_i$  son los coeficientes pendiente (beta) y el intercepto a estimarse sobre el activo i.

### Tasa libre de riesgo

Un activo libre de riesgo es un activo cuyo retorno es igual al retorno esperado, por lo tanto la tasa libre de riesgo correspondería a la tasa de retorno del activo libre de riesgo.

Damodaran plantea los requisitos para que un activo sea libre de riesgo, y son los siguientes:

El primero es que no puede haber riesgo de impago, y los únicos valores que cumplen con esta premisa son los títulos emitidos por el gobierno, debido a que el gobierno tiene el control sobre la impresión de la moneda.

Y la segunda es que no puede haber riesgo de reinversión, o que si se define una tasa libre de riesgo para un rango específico, esta tasa debe ser el retorno de un activo invertido en ese mismo rango (Teller, 2013).

### Prima por riesgo de mercado

La prima por riesgo del mercado es el exceso de retorno sobre la tasa libre de riesgo que provee un valor sobre la cartera de mercado.

La razón de esta prima se debe a que el inversionista exige una compensación por invertir en activos más riesgosos (Jafarzadeh, Tareghian, Rahbarnia, & Ghanbari, 2015), como las acciones de una empresa, en vez de invertir en activos libres de riesgo

Prima por riesgo de Mercado = Rentabilidad del Mercado – Tasa Libre de Riesgo (13)

### Valor Presente Neto (VPN)

Cuando el que decide se enfrenta a una disyuntiva debe considerar los beneficios y los costos que le implica cada alternativa. Se trata de tomar decisiones que requieren sacrificio de recursos (una inversión) hoy con consecuencias de costos y beneficios futuros. Hay que comparar, como ya se dijo, beneficios y costos. Ya se estudió cómo hacer la comparación de flujos de dinero en diferentes períodos de tiempo.

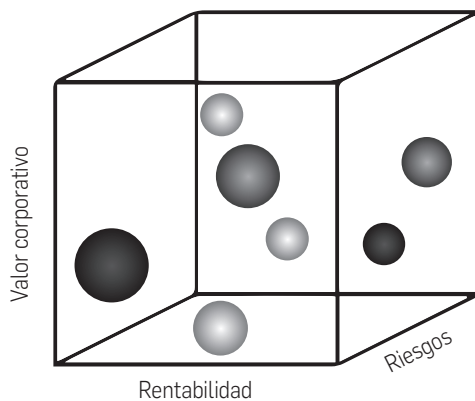
El Valor Presente Neto mide el remanente en pesos de hoy, después de descontar la inversión (o el "préstamo"

que le hace el inversionista al proyecto) y el "interés" (calculado a la tasa de descuento) que debe "devolver" el proyecto al inversionista. En otras palabras, es el monto por el cual aumenta la riqueza del que decide (individuo o firma) después de haber llevado a cabo la alternativa que se estudia. El VPN, por lo tanto, permite establecer mecanismos que aumenten y maximicen el valor de la firma. Todo esto implica que a mayor tasa de descuento, menor será el VPN (Teller , 2013).

### 3. Desarrollo

El presente artículo pretende mostrar que al incluir diferentes criterios en el momento de realizar la selección de proyectos en el interior de un portafolio no solo se maximiza la utilidad sino el valor del mismo para la organización, es así que se incluyen tres niveles de análisis:

**Figura 1.** Niveles de análisis en un portafolio de proyectos



Fuente: Autores

Se cuenta con un portafolio de proyectos relativos a la puesta en marcha de planes de negocio para la siem-

bra, la recolección y la posterior venta de productos agrícolas. Dichos planes de negocio están diseñados para los siguientes productos: durazno, fresa, granadilla, limón común, lulo, mango reina, mango *tommy*, maracuyá, mora, panela, papa R12 negra, papa R12 roja, piña, pitahaya, curuba, tomate de árbol y yuca llanera. Se considera que cada producto es un posible proyecto de inversión, dado que se tendrán en cuenta los recursos necesarios para sembrar el cultivo. Para el cálculo de estos flujos de caja a nivel de ingresos se utilizaron precios de venta de mercado al 13 de marzo de 2015, según [www.corabastos.com.co](http://www.corabastos.com.co). Y a nivel de egresos, lo estipulado en la normatividad legal vigente para Colombia.

Se busca optimizar el portafolio de proyectos de manera que se le pueda sugerir al inversionista la combinación exacta de proyectos que maximizará el beneficio, teniendo en cuenta que la restricción de presupuesto para el primer periodo es de \$9000000000, y para el segundo periodo es de \$4000000000. Este tipo de restricción se genera debido a la disponibilidad de capital de la organización.

Para cuantificar el beneficio obtenido se toma como referencia el indicador de bondad financiera VPN (Valor Presente Neto). La tasa de interés de oportunidad (TIO) que se utiliza para el cálculo del VPN se obtiene a partir del uso del CAPM.

Para realizar la operacionalización del CAPM se tomaron como referencia los datos ofrecidos por Buenaventura, Gómez y Ortiz (DICKINSON, THORTON, & GRAVES, 2004) en la tabla 15 de su artículo, donde exponen que el rendimiento del mercado colombiano tiene un valor de 22,22%, y que la tasa libre de riesgo es de 5,19%. Adicionalmente, se utilizaron los datos proporcionados por Edinson Caicedo (Jafarzadeh, Tareghian, Rahbarnia, & Ghanbari, 2015) (en su artículo, para seleccionar el beta no apalancado

adecuado teniendo en cuenta el sector económico al que pertenecen los proyectos, y se obtuvo un resultado de 1,34. Sin embargo, es importante mencionar que, debido a la dinámica propia de los mercados, es importante actualizar estos valores en periodos más cortos de frecuencia.

Con estos datos, se calculó el rendimiento esperado con la fórmula (10), que para el caso planteado representa el valor de la TIO.

A continuación se presenta una tabla resumen con los datos proporcionados:

**Tabla 1.** Datos CAPM

$\beta_{im}$	BETA sector agropecuario	1,34
$r_f$	Tasa libre de riesgo	5,19%
$E(r_m)$	Rendimiento del mercado	22,22%
$E(r_i)$	<b>Rendimiento esperado</b>	<b>28,01%</b>

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida la TIO (28.01%), se procedió a calcular el VPN con esta tasa. Los resultados se presentan en la tabla 2. Previa realización de los respectivos flujos de caja de cada uno de los proyectos, determinando una inversión inicial, y una reinversión en un periodo posterior en el tiempo.

**Tabla 2.** Valor Presente Neto

PROYECTO	VPN
Curuba	1.223.971
Durazno	7.526.155
Fresa	12.543.708
Granadilla	-39.545.709
Limón común	166.341.435
Lulo	-62.816.207
Mango reina	-51.494.500
Mango tommy	-18.963.881
Maracuyá	8.900.078
Mora	-15.279.131
Panela	20.588.307
Papa R12 negra	279.323.180
Papa R12 roja	145.660.090
Piña	-62.243.424
Pitahaya	-12.304.478
Tomate de árbol	13.569.359
Yuca llanera	-40.820.048

Fuente: Elaboración propia

Una vez determinados los VPN de cada alternativa se realiza el primer filtro de información, excluyendo aquellos proyectos cuyo VPN sea negativo, por cuanto los mismos no están en capacidad de responder a las expectativas de los inversionistas. (Ver tabla 3 siguiente página)

Finalmente, a través de la utilización de la programación lineal entera binaria se encontró la combinación de proyectos que maximiza el beneficio, teniendo en cuenta las restricciones de inversión anteriormente mencionadas.

**Tabla 3.** Productos con VPN positivo

PRODUCTO	INVERSIÓN REQUERIDA	VPN
Curuba	\$90.500.000	\$1.223.971
Durazno	\$305.000.000	\$7.526.155
Fresa	\$61.000.000	\$12.543.708
Limón común	\$190.000.000	\$166.341.435
Maracuyá	\$137.000.000	\$8.900.078
Panela	\$210.000.000	\$20.588.307
Papa R12 negra	\$295.000.000	\$279.323.180
Papa R12 roja	\$295.000.000	\$145.660.090
Tomate de árbol	\$225.000.000	\$13.569.359

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.** Variables de decisión

PRODUCTO	VARIABLE DE DECISIÓN (Binaria*)
Curuba	0
Durazno	0
Fresa	1
Limón común	1
Maracuyá	1
Panela	1
Papa R12 negra	1
Papa R12 roja	1
Tomate de árbol	0

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos sugieren que el portafolio debe estar compuesto por seis proyectos que corresponden a los productos: fresa, limón común, maracuyá, panela, papa R12 negra, papa R12 roja y tomate de árbol. La inversión total correspondería a \$1.188'000.000, divididos en dos periodos, la inversión del primer periodo sería de \$800'000.000, y la del segundo periodo correspondería a \$388'000.000. Se estima que la combinación de estos proyectos representa un beneficio económico para el inversionista de \$633'356.798, es decir, cifra redondeada a \$633'000.000.

## 4. Discusión

En el caso puntual del artículo se utilizó la metodología del CAPM para calcular la tasa de oportunidad de la inversión, y a pesar de que es una aproximación bastante cercana, este cálculo está sujeto a los cambios del mercado, por lo que no hay garantía de que la inversión vaya a presentar exactamente esos rendimientos<sup>2</sup>.

El llamado para otros profesionales académicos en el área de proyectos es a investigar y desarrollar otros métodos para realizar el cálculo de la tasa de oportunidad, de manera que los resultados obtenidos al operar el valor presente neto sean más cercanos y no dependan exclusivamente del mercado, incluyendo el análisis de gestión de riesgos. Es decir, cualquier evaluación o análisis que se realice sobre un proyecto o sobre un portafolio de proyectos debe poseer un análisis de riesgos implícito que permita determi-

2 Para este caso de variable binaria, el número uno significa que el proyecto puede realizarse, y el número cero que no debe realizarse.

nar con mayor grado de exactitud su real bondad financiera. Adicionalmente, es importante resaltar que el Valor Presente Neto no es la única alternativa existente para medir el grado de bondad de una inversión, por lo que es adecuado desarrollar nuevos parámetros que se ajusten más a las necesidades de los inversionistas, y poder migrar al concepto de generación de valor como herramienta que trasciende los indicadores tradicionales de bondad financiera. De igual manera, es una oportunidad especial para motivar a las compañías y a los inversionistas a implementar ese tipo de metodologías a la hora de realizar la selección de los proyectos que componen el portafolio, de manera que esta decisión esté sustentada en cálculos teóricos, y no en percepciones y juicios de valor subjetivos.

## 5. Conclusiones

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. Para cuantificar estos beneficios, se sugiere utilizar la prueba de bondad financiera VPN (Valor Presente Neto), que tiene en cuenta el dinero en el tiempo y toma como referencia los flujos de caja de los proyectos.

Para disminuir el efecto que tiene la tasa de interés en la sensibilidad del cálculo es importante definir una tasa de oportunidad que involucre la mayor cantidad de factores posible, de manera que el cálculo sea aproximado y la optimización del portafolio sea la más acertada. Una herramienta útil que tiene en cuenta los rendimientos y riesgos del mercado es el CAPM, que proporciona una tasa de oportunidad de acuerdo al comportamiento del mercado. Aunque no se puede garantizar que el comportamiento del mercado se

ajuste exactamente a la tasa arrojada por el CAPM, es un indicador que se aproxima bastante y le da una idea al inversionista sobre el comportamiento esperado de su inversión. Adicionalmente, en el cálculo de esta tasa se incorpora una variable de tasa de riesgo, lo que robustece un proceso de toma de decisiones puesto que, sin obviar la gestión de riesgos de cada proyecto, la tasa misma representa una medida de riesgo que necesariamente altera el comportamiento de los flujos de caja de cada proyecto analizado.

En consecuencia, este artículo proporciona una visión que incorpora varios aspectos de mejora en el interior de un proyecto de inversión, por una parte la determinación de una tasa de oportunidad bajo el modelo CAPM, y en segundo lugar, el análisis de optimización operativa derivado de la aplicación de la programación lineal en la selección de un portafolio de proyectos, dadas unas restricciones o posibilidades de inversión a nivel de proyectos agrícolas.

## Referencias

- ALSUDIRI, T., AL-KARAGHOULI, W., & ELDABI, T. (2013). Aligment of large projects management process to business strategy. *Journal of enterprise information*, 596-615.
- Asociación española de dirección integrada de Proyectos. (20 de Enero de 2015). *AEDIP*. Obtenido de <http://direccion-integrada.aedip-project-management.com/>
- BRITISH STANDARD INSTITUTE. (2000). *Guide to Project Management*. British Standard Institute.
- COMISIÓN EUROPEA. (2010). *Más inteligente y más limpia. Consumo y producción sostenibles*. Luxemburgo: Unió Europea.
- DICKINSON, M., THORTON, A., & GRAVES, S. (2004). *Technology Portfolio Management: Optimizing Interdependent Projects over multiple time periods*.

- ESTRADA, L., & LEIBOVICH, J. (2009). *Competitividad del sector*. Bogotá: Consejo privado de competitividad.
- GHASEMZADEH, F., & ARCHER, N. (2000). Project portfolio selection through decision support. *Decision Support Systems*, 73-88.
- HAMILTON, M. (2005). *Formulación y evaluación de Proyectos Tecnológicos empresariales aplicados*. Convenio Andrés Bello.
- Jafarzadeh, M., Tareghian, H., Rahbarnia, F., & Ghanbari, R. (2015). Optimal selection of project portfolios using reinvestment strategy. *European Journal of Operational Research*, 658-664.
- JUNGUITO, R., PERFETTI, J., & BECERRA, A. (2014). *Desarrollo de la agricultura colombiana*. Bogotá: CUADERNOS FEDESARROLLO.
- LEVINE, H. (2005). *Project Portfolio Management*. Wiley.
- MOCHÓN, F., & APARICIO, R. (s.f.). *Diccionario de términos financieros y de inversión*.
- PALACIO, I. (2010). *Guía práctica para la identificación, formulación y evaluación de proyectos*. Universidad del Rosario.
- PERFETTI, J., BALCÁZAR, Á., HERNÁNDEZ, A., & LEIBOVICH, J. (2013). *Políticas para el desarrollo de la agricultura en Colombia*. Bogotá: SAC y FEDESARROLLO.
- Premio nacional de tecnología e innovación. (15 de Noviembre de 2014). *Premio nacional de tecnología e innovación*. Obtenido de [http://www.fpnt.org.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=112&Itemid=54](http://www.fpnt.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=112&Itemid=54)
- Project Management Institute. (2004). *PMBOK GUIDE*. PMI.
- ROLLINS, S., & KENDALL, G. (2003). *Advanced project portfolio management and the PMO*. International Institute of Learning.
- SANSORES, E. (2008). El modelo de valuación de activos de capital aplicado a mercados financieros. *Contaduría y administración*, 93-111.
- Teller, J. (2013). Portfolio Risk Management and Its Contribution to Project Portfolio Success: An Investigation of Organization, Process, and Culture. *Project Management Journal*, 36-51.
- ULLMAN, D., & LEVINE, H. (2009). Five Key Decisions for Portfolio Optimization. *PM World Today Journal*.
- VÉLEZ, I. (2006). *Decisiones de inversión para la valoración financiera de proyectos y empresas*. CEJA.