



**Universidad de Valladolid**



**ESCUELA DE INGENIERÍAS  
INDUSTRIALES**

**UNIVERSIDAD DE VALLADOLID**

**ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES**

**Grado en Ingeniería en Organización Industrial**

**Comparación de métodos para la  
priorización en la selección de carteras de  
proyectos: Mochila múltiple vs Greedy  
Heuristics**

**Autor:**

**Raquel Maderuelo Pérez**

**Tutores:**

**Adolfo López Paredes**

**Félix A. Villafáñez Cardeñoso**

**Departamento de Organización de  
Empresas y CIM**

**Valladolid, Mayo 2019**



## RESUMEN

---

Elegir el método de financiación adecuado a la hora de desarrollar un proyecto es fundamental; pero es aún más importante contar con los mecanismos adecuados que permitan la selección de los proyectos óptimos dentro de una cartera de proyectos y los cuales deberán llevarse a cabo.

En este proyecto, se analizarán dos metodologías útiles para una correcta priorización de carteras de proyectos las cuales son: el método de la mochila múltiple y los “algoritmos voraces” (*greedy heuristics*). Para ello se ha programado un complemento sobre MS Excel utilizando macros que permite al usuario introducir los datos de una cartera de proyectos para realizar la evaluación comparativa de los resultados que ofrecen ambos métodos.

## PALABRAS CLAVE

---

Cartera de Proyectos, Financiación, Priorización, Método de la mochila, Greedy Heuristics



## ABSTRACT

---

Choosing the right financing method in order to develop a project is fundamental; But it is even more important to have the right mechanisms to allow the optimal selection of projects within a project portfolio and which should be carried out.

In this project, two useful methodologies for correct project portfolio prioritization will be analyzed, which are: the multi-knapsack problem and the greedy heuristics. To this end, a complement has been programmed on MS Excel using macros that allows the user to enter data from a project portfolio to carry out the comparative evaluation of the results offered by both methods.

## KEYWORDS

---

Project Portfolio, Project Finance, Prioritizing, Knapsack problem, Greedy Heuristics



# TABLA DE CONTENIDO

---

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes y justificación del proyecto.....	1
1.2. Objetivos del proyecto.....	1
1.3. Alcance del proyecto.....	2
1.4. Organización del proyecto .....	2
2. GESTIÓN DE CARTERAS DE PROYECTOS.....	5
2.1. Introducción.....	5
2.2. ¿Qué es la gestión de carteras de proyectos? .....	5
2.3. Proposiciones para la selección de la cartera de proyectos .....	6
2.4. Consideraciones estratégicas.....	8
2.5. Evaluación de los proyectos individualmente .....	9
2.6. Técnicas para la selección de la cartera de proyectos.....	11
2.7. Consideraciones a tener en cuenta para una correcta selección de la cartera .....	13
2.7.1. Interdependencias de los proyectos.....	13
2.7.2. Naturaleza del tiempo.....	14
2.7.3. Involucrar en el proceso a los tomadores de decisiones.....	15
3. MÉTODOS PARA LA PRIORIZACION EN LA SELECCIÓN DE PROYECTOS .....	17
3.1. Introducción.....	17
3.2. Método de la Mochila.....	18
3.2.1. Definición .....	18
3.2.2. Variantes .....	19
3.3. Greedy Heuristics.....	21
3.3.1. ¿Qué son? .....	21
3.3.2. Greedy Heuristics VS programación dinámica.....	22
3.4. Planteamiento de la problemática.....	23
3.5. Cartera óptima de proyectos .....	25
3.6. Heurística para priorización de proyectos .....	28
3.7. Priorización óptima de proyectos .....	32
3.8. Conclusiones .....	33
4. CASO PRÁCTICO: PARTE 1 .....	35
4.1. Introducción.....	35
4.2. Enunciado del problema .....	35

4.3. Estructura del complemento programado mediante VBA .....	38
4.4. Pestaña Datos: Viabilidad económica de los proyectos.....	41
4.5. Pestaña Escenarios Presupuestarios.....	44
5. CASO PRÁCTICO: PARTE 2 .....	47
5.1. Introducción.....	47
5.2. Desarrollo del método de la Mochila Múltiple.....	47
5.3. Resultados del método .....	52
6. CASO PRÁCTICO: PARTE 3 .....	55
6.1. Introducción.....	55
6.2. Caso ascendente .....	55
6.2.1. Programación.....	55
6.2.2. Resultados obtenidos.....	62
6.3. Caso descendente .....	62
6.3.1. Programación.....	62
6.3.2. Resultados obtenidos.....	63
6.4. Caso presupuesto intermedio.....	64
6.4.1. Programación.....	64
6.4.2. Resultados obtenidos.....	65
6.5. Comparativa Método de la Mochila VS Greedy Heuristics.....	67
6.6. Variante del problema .....	70
7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS.....	73
7.1. Conclusiones .....	73
7.2. Líneas futuras.....	75
BIBLIOGRAFÍA.....	77
ANEXO 1: VIABILIDAD DE PROYECTOS .....	83
ANEXO 2: ESCENARIOS PRESUPUESTARIOS.....	87
ANEXO 3: PROGRAMACIÓN DEL MÉTODO DE LA MOCHILA MÚLTIPLE .....	91
ANEXO 4: PROGRAMACIÓN DEL MÉTODO BASADO EN GREEDY HEURISTICS.....	95



## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1: Formulación genérica método de la Mochila .....	19
Figura 2: Formulación genérica método de la Mochila una sola dimensión .....	20
Figura 3: Formulación genérica método de la Mochila Múltiple.....	20
Figura 4: Formulación Método de la Mochila Múltiple .....	26
Figura 5: Pestaña Portada-Resumen Complemento VBA .....	38
Figura 6: Pestaña Datos Complemento VBA.....	39
Figura 7: Pestaña Escenarios Presupuestarios Complemento VBA .....	39
Figura 8: Pestaña método de la Mochila Múltiple Complemento VBA .....	40
Figura 9: Pestaña Greedy Heuristics Complemento VBA.....	40
Figura 10: Pestaña Comparativa Complemento VBA .....	41
Figura 11: Explicación Pestaña Datos.....	41
Figura 12: Fórmula VAN .....	42
Figura 13: Cálculo del VAN.....	42
Figura 14: Cálculo Excel del IR.....	43
Figura 15: Listado de Proyectos viables .....	44
Figura 16: Instrucciones pestaña Datos .....	44
Figura 17: Explicación pestaña Escenarios Presupuestarios.....	45
Figura 18: Tabla Parámetros método de la Mochila Múltiple .....	47
Figura 19: Cálculo Excel columna Producto Coste .....	48
Figura 20: Cálculo Excel Producto VAN.....	48
Figura 21: Fórmula Coste total de la Cartera método Mochila Múltiple.....	49
Figura 22: Solver método de la Mochila Múltiple.....	49
Figura 23: Cálculo del VAN de la Cartera método de la Mochila Múltiple .....	50
Figura 24: Escenarios método de la Mochila Múltiple .....	51
Figura 25: Botón Excel Ejecutar método de la Mochila Múltiple .....	51
Figura 26: Cartera de Proyectos método de la Mochila .....	52
Figura 27: Pestaña Excel Greedy heuristics .....	55
Figura 28: Cálculo de la diferencia de presupuesto Greedy Heuristics caso ascendente. 56	
Figura 29: Restricciones sucesivas Greedy Heuristics.....	57
Figura 30: Explicación Tabla Greedy Heuristics .....	57
Figura 31: Comparativa Carteras de Proyectos .....	58
Figura 32: Columna Disponibilidad .....	58
Figura 33: Cálculo Excel Producto coste Greedy Heuristics.....	59
Figura 34: Cálculo Excel columna Producto Van Greedy Heuristics .....	59
Figura 35: Presupuesto Disponible Iteración .....	60
Figura 36: Costes de los Proyectos candidatos.....	60
Figura 37: Tabla Maximización Greedy Heuristics.....	61
Figura 38: Solver Greedy Heuristics caso ascendente .....	61
Figura 39: Carteras de Proyectos Greedy Heuristics caso ascendente.....	62
Figura 40: Carteras de Proyectos Greedy Heuristics caso descendente .....	63
Figura 41: Escenarios Presupuesto Intermedio .....	64
Figura 42: Cartera de proyectos obtenida caso presupuesto intermedio .....	65

Figura 43: Comparativa caso descendente .....	65
Figura 44: Comparativa Presupuesto Intermedio.....	66
Figura 45: Comparativa 2 Presupuesto Intermedio.....	67
Figura 46: Cartera Mochila Múltiple .....	68
Figura 47: Cartera Greedy Heuristics Método Ascendente .....	68
Figura 48: Cartera Mochila Múltiple .....	69
Figura 49: Cartera Greedy Heuristics Presupuesto Intermedio.....	69
Figura 50: Cartera de proyectos obtenida en la Variante del Problema caso ascendente .....	70
Figura 51: Proyectos candidatos.....	71
Figura 52: Cartera de proyectos obtenida en la Variante del Problema caso descendente .....	71
Figura 53: Cartera de proyectos obtenida en la Variante del Problema caso presupuesto intermedio .....	72

## LISTA DE TABLAS

---

Tabla 1: Índices y conjuntos método de la Mochila Múltiple .....	26
Tabla 2: Datos formulación método de la Mochila Múltiple .....	26
Tabla 3: Variables de decisión Método de la Mochila Múltiple.....	26
Tabla 4: Datos STPNOC .....	27
Tabla 5: Carteras STPNOC obtenidas Mochila Múltiple .....	28
Tabla 6: Cartera de proyectos STPNOC mediante Greedy Heuristics .....	29
Tabla 7: Lista de Prioridad STPNOC.....	31
Tabla 8: Lista de Prioridades STPNOC método Óptimo .....	33
Tabla 9: Flujos de Caja Anuales por Proyecto .....	36
Tabla 10: Costes Anuales por Proyecto .....	37
Tabla 11: Escenarios Presupuestarios.....	37
Tabla 12: Variante del Problema .....	70



# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. Antecedentes y justificación del proyecto

El impacto de los proyectos en la sociedad actual es inmenso, pero el evidente desperdicio a través de la selección inadecuada de estos o una formulación errónea es igualmente grande. Esto representa una seria disminución de nuestro capital colectivo y la consecuente repercusión en la economía global. Para hacer frente a este desafío, existe algo nuevo, aunque todavía evolucionando. La solución se encuentra en la gestión de cartera de proyectos (PPM). Dicha metodología trata de desarrollar métodos que vinculen los proyectos con los objetivos estratégicos de las empresas (Levine, 2005).

Las técnicas desarrolladas en PPM evalúan proyectos seleccionando los mejores, equilibrando la cartera en términos de riesgo o coste, y coordinando la ejecución conjunta de los proyectos individuales. El resultado es una lista ordenada de los proyectos óptimos. Obviamente, esta selección debe realizarse teniendo en cuenta las limitaciones de recursos de la empresa. Por este motivo, este ranking de proyectos será elaborado a través de reglas de priorización que incluyen más o menos factores de decisión en función de la complejidad.

## 1.2. Objetivos del proyecto

El objetivo de este proyecto es proponer y comparar dos métodos alternativos para una correcta priorización de proyectos en una cartera de proyectos.

Además, se realizará un complemento sobre Excel que permita priorizar la elección de un conjunto de proyectos de inversión, considerando su contribución al valor de la cartera de proyectos en la que se integraría. Este puede servir para las prácticas de alumnos en formación de grado y máster en las materias de Project Management.

Como último objetivo a nivel personal es el de incrementar tanto mi capacidad de análisis como de resolución de problemas mediante herramientas computacionales que permitan automatizar el proceso de toma de decisión a los manager, así como ampliar mi formación en esta materia.

### 1.3. Alcance del proyecto

Para cumplir con los objetivos definidos anteriormente, se ha realizado una documentación amplia sobre el tema a partir de la bibliografía existente. He podido investigar acerca de la importancia de una correcta selección de proyectos a la hora de garantizar el éxito de la organización.

Por otra parte, a partir del artículo escrito por Ali Koç et al. (2009) *Prioritizing Project Selection*, he profundizado en los métodos de priorización de carteras de proyectos, lo que ha sido de gran ayuda a la hora de desarrollar un complemento software para poder realizar un ejercicio simple de priorización de carteras de proyectos.

### 1.4. Organización del proyecto

El Proyecto se estructura de la siguiente manera:

#### CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

En este capítulo se introduce el proyecto, justificando su realización y los objetivos principales del mismo.

#### CAPÍTULO 2: GESTIÓN DE CARTERAS DE PROYECTOS

Este capítulo trata sobre la importancia de una correcta selección de la cartera de proyectos, la cual debe ser acorde a los objetivos de la organización. También expone las distintas técnicas empleadas a lo largo de la historia para priorizar proyectos y las consideraciones que se deben de tener en cuenta para encontrar el método más adecuado.

#### CAPÍTULO 3: MÉTODOS PARA LA PRIORIZACIÓN EN LA SELECCIÓN DE PROYECTOS

En este capítulo, se explican los métodos puestos en práctica por Ali Koç et al. (2009) para la priorización de carteras de proyectos, en su libro “*Prioritizing Project Selection*” y las conclusiones obtenidas.

#### CAPÍTULO 4: CASO PRÁCTICO: PARTE 1

En este capítulo, en primer lugar, se presenta un complemento programado mediante VBA para la priorización de carteras de proyectos mediante dos métodos: la Mochila Múltiple y las *Greedy Heuristics*.

Se propone un enunciado tipo de un problema de priorización de carteras, y se realizan los cálculos iniciales necesarios para poder desarrollar cada uno de los métodos.

#### CAPÍTULO 5: CASO PRÁCTICO: PARTE 2

En este capítulo se explica el procedimiento llevado a cabo en Excel para la priorización de carteras de proyectos mediante el método de la Mochila Múltiple.

#### CAPÍTULO 6: CASO PRÁCTICO: PARTE 3

En este capítulo se explica el procedimiento llevado a cabo en Excel para la priorización de carteras de proyectos mediante las *Greedy Heuristics*.

#### CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En este capítulo se explican las conclusiones obtenidas de la realización de este trabajo, así como las posibles líneas futuras a desarrollar.

#### ANEXOS

En los Anexos situados en la parte final del documento se pueden consultar las Macros empleadas para la ejecución de ambos métodos de priorización.





## 2. GESTIÓN DE CARTERAS DE PROYECTOS

---

### 2.1. Introducción

Debido a las crecientes presiones competitivas en la economía global; el análisis y la planificación de las carteras de proyectos se ha convertido en un reto importante para los administradores de proyectos, ya que deben alinear el portafolio y sus componentes, hacia la estrategia organizacional de la empresa, sin exceder los recursos disponibles o violar otras restricciones. (Tripp, 2009)

En la década de 1980, la gestión de proyectos experimentó un crecimiento excepcional y un gran número de empresas adoptaron los principios y métodos de la gestión de proyectos. Estos métodos tales como Gantt o PERT estaban dirigidos principalmente a proyectos individuales. Con el paso del tiempo, la gestión de proyectos se ha vuelto esencial en casi todos los sectores de actividad: Banca y seguros, informática, construcción... (Lahaye, 2009).

Sin embargo, la búsqueda de productividad, la aceleración del desarrollo de nuevos productos y la búsqueda de la innovación ha llevado a un aumento en la cantidad y variedad de proyectos. Administrarlos simultáneamente requiere el uso de modelos cada vez más completos (Lahaye, 2009).

### 2.2. ¿Qué es la gestión de carteras de proyectos?

La gestión de carteras de proyectos tiene una meta fundamental; maximizar su valor evaluando minuciosamente los proyectos y programas candidatos a formar parte de la cartera, excluyendo aquellos que no cumplan con los objetivos estratégicos de la organización. Una buena gestión de carteras aumenta el valor empresarial al alinear los proyectos con la dirección estratégica de la organización, haciendo el mejor uso de los recursos limitados y creando sinergias entre los proyectos. Lamentablemente, las organizaciones a menudo no realizan una buena gestión lo que provoca el no cumplimiento de los objetivos estratégicos (Oltmann, 2008).

Específicamente, el paso de seleccionar y priorizar proyectos y portafolios es un tema que ha sido ampliamente discutido en la bibliografía existente. La selección de la cartera de proyectos o portafolio de proyectos es una decisión crucial en muchas organizaciones que deben elegir, de una variedad de posibles inversiones de recursos disponibles, aquellas que mejor pueden satisfacer sus objetivos. Es habitual que las empresas tengan más proyectos

propuestos que recursos para apoyarlos, por lo que deben tomar decisiones para crear una adecuada cartera (Ghasemzadeh y Archer, 1998).

Según Levine (2005), el objetivo de la gestión de carteras es crear el conjunto de proyectos más adecuado, que se encuentre alineado con las estrategias de la organización y a su vez cumpla con las limitaciones de recursos de la empresa. De manera genérica, una correcta priorización de proyectos, no solo se basa en un análisis financiero del rendimiento de las inversiones, sino que también debe considerar otras cuestiones tales como: las características de los proyectos, las implicaciones de los proyectos de investigación y desarrollo, las condiciones de comercialización, el uso de los recursos, las probabilidades de éxito de los proyectos o la de no ejecución.

Es importante resaltar la diferencia entre la dirección de proyectos (Project Management) y la gestión de carteras de proyectos (Project Portfolio Management). Mientras que la primera se dedica a establecer metodologías para que los proyectos sean exitosos, la gestión de carteras de proyectos abarca mucho más, ya que determina qué proyectos se deben llevar a cabo y cómo deben coordinarse para lograr el éxito empresarial (Hernández, 2010).

En la actualidad, existen pocos avances a la hora de encontrar un método que: Considere simultáneamente los diferentes criterios para encontrar la cartera de proyectos más adecuada, aproveche las mejores características de los métodos existentes para descomponer el proceso en una serie de actividades flexibles y lógicas y aplicar la tarea más apropiada en cada etapa; y que, también implique la participación de los tomadores de decisiones en el proceso (Ghasemzadeh y Archer, 1998).

Por lo tanto, no faltan técnicas para la evaluación de proyectos y la selección de carteras, existe una carencia total de un marco para organizar estas técnicas de manera lógica.

En el siguiente apartado, se describe brevemente el marco propuesto para una correcta selección de carteras de proyectos.

### 2.3. Propositiones para la selección de la cartera de proyectos

Se comienza definiendo qué se entiende por proyecto y por cartera de proyectos.

Un proyecto se puede definir como un esfuerzo complejo, generalmente de menos de tres años de duración, compuesto por tareas interrelacionadas,

realizadas por varias organizaciones, con un objetivo, fecha y presupuesto bien definidos.

Por otra parte, una cartera de proyectos es un grupo de proyectos que se llevan a cabo bajo el patrocinio y / o la gestión de una organización en particular. Según Dehouche (2014), una cartera de proyectos se definiría como un conjunto de proyectos que comparten un recurso común. Estos recursos pueden ser de carácter humano o presupuestario, pero también conocimiento o tecnología.

La selección de la cartera de proyectos debe considerarse como un proceso que incluye varios pasos, en lugar de solo evaluar o puntuar proyectos, o resolver un problema de optimización.

Son muchos los marcos propuestos para una correcta priorización de carteras de proyectos, tal y como afirman Coldrick et al. (2005). Según los autores, estos modelos incluyen desde métodos de programación lineal, modelos de puntuación o listas de verificación.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que, las metodologías más útiles para desarrollar la cartera para una clase de proyectos pueden no ser las mejores en otra situación. La elección del método depende en gran medida del contexto de la decisión, las partes interesadas y de lo que se busca con esta decisión.

De este modo, el marco propuesto por el modelo de Archer y Ghasemzadeh (1999) para una correcta selección de la cartera de proyectos consta de las siguientes fases: Consideraciones estratégicas, evaluación de proyectos individuales y selección de la cartera.

Las técnicas utilizadas en la primera fase pueden ayudar a determinar un enfoque estratégico y una asignación presupuestaria general para la cartera, mientras que las de la segunda pueden usarse para evaluar un proyecto independientemente de otros.

La tercera fase se ocupa de la selección de carteras en función de los parámetros del proyecto candidato, incluidas sus interacciones con otros proyectos a través de restricciones de recursos u otras interdependencias.

A continuación, cada fase se considera por separado. Las técnicas aplicables a cada fase se describen primero, seguidas de una serie de proposiciones que especifican los requisitos que tratan el impacto de esa fase en un marco de selección de cartera adecuado, que se describirá a continuación.

## 2.4. Consideraciones estratégicas

Esta primera etapa consiste en la determinación del enfoque estratégico de la cartera y el establecimiento de las restricciones de recursos, seleccionando metodologías que se adapten a la clase de proyecto en cuestión y a la cultura de la organización.

Se deben tener en cuenta consideraciones tanto internas como externas a la organización, en un sentido amplio; así como las fortalezas y debilidades de esta. Estas consideraciones pueden usarse para construir una perspectiva amplia de dirección estratégica, e iniciativas específicas para obtener una ventaja competitiva. Esto es de vital importancia para los tomadores de decisiones, ya que es aquí donde ellos mismos analizan el lugar en el que se encuentran y al que les gustaría llegar.

Un error crítico es pensar que PPM (Gestión de Cartera de Proyectos) es fundamentalmente la gestión de múltiples proyectos. Esto no es así. El PPM se basa en la administración de la cartera de proyectos para maximizar la contribución de los proyectos al bienestar general y al éxito de la empresa. Esto significa que los proyectos deben estar alineados con la estrategia y los objetivos de la empresa, así como con sus valores y cultura. También, deben contribuir a un flujo de caja positivo para la empresa, pero también deben ayudar a posicionar a la empresa para el éxito futuro (Levine, 2005).

Un problema común a muchas organizaciones es que no hay conexión entre las operaciones y las funciones de los proyectos y no hay flujo de información estructurado, consistente y significativo entre estos dos grupos. Los objetivos de la organización casi nunca se comunican a la oficina del proyecto, y las mediciones periódicas realizadas por el grupo de proyectos no pueden relacionarse con estos objetivos.

Está claro que esta etapa estratégica debe determinarse antes de que los proyectos individuales puedan considerarse para una cartera de proyectos. Gran parte de las empresas hacen una extensa preparación y planificación de la estrategia antes de considerar proyectos individualmente. De este modo, será fundamental construir un plan de acción.

## 2.5. Evaluación de los proyectos individualmente

La manera de evaluar los proyectos es analizando la contribución individual que cada uno de ellos aporta al conjunto de la cartera.

Los proyectos se evalúan en función de criterios múltiples (a menudo contradictorios) y en la mayoría de los casos, solo un subconjunto de los proyectos propuestos puede financiarse con los recursos disponibles. Este marco de toma de decisiones se conoce como MCC o Decisión Multicriterio de Presupuestos de Capital (Pacheco et al. 2008).

La evaluación en base a un proyecto individual incluye métodos tales como:

### a) Retorno económico

Esto incluye el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), el retorno de la inversión (ROI) o el valor esperado, por ejemplo.

### b) Relación beneficio/coste

Implica el cálculo de una relación de beneficio/coste, donde las entradas se pueden derivar de los cálculos del valor presente de los beneficios y costes.

### c) Riesgo

El riesgo según la Real Academia de la lengua Española, se define como “La contingencia o proximidad de un daño”. Es una combinación entre la probabilidad de que un evento ocurra y las consecuencias asociadas con este.

Tradicionalmente, para el caso de la valoración del riesgo de un proyecto, este era considerado como la probabilidad de su fracaso; es decir, la falta de éxito del proyecto. En el campo de la selección de proyectos, el riesgo puede ser medido a través de infinidad de técnicas. Algunas de ellas, están basadas en la valoración subjetiva realizada por expertos, otras, mediante la construcción de una función de distribución acumulada de riesgo para cada proyecto; y otras, como en el caso de Radulescu et al. (2001), proponen una medición diferente del riesgo. En su artículo se define el riesgo como la varianza de las puntuaciones asignadas por un número de expertos a cada proyecto. Según su teoría, un proyecto tendrá más riesgo cuanto mayor sea la dispersión que exista entre las opiniones de los expertos en cuestión en relación con el éxito de cada proyecto.

Cada proyecto tiene algún riesgo asociado al no cumplimiento de los objetivos especificados para el mismo. Para analizar el riesgo del proyecto, un proyecto se descompone por primera vez en sus componentes. Dependiendo de la profundidad del análisis apropiado en el momento del ciclo de vida del proyecto, esta descomposición puede variar desde relativamente simple hasta una descomposición más compleja (Carazo et al. 2011).

Posteriormente se identifican los eventos de riesgo relacionados con cada actividad y se estiman sus probabilidades y consecuencias. La información utilizada para estimar el riesgo puede derivarse de la opinión de expertos, datos técnicos o experiencia previa con proyectos similares.

Por otra parte, se pueden usar eventos interdependientes para estimar el riesgo general del proyecto. Algunos modelos utilizados para analizar el riesgo incluyen la simulación de Monte Carlo, la teoría de la decisión y la teoría estadística bayesiana. El riesgo es importante cuando se considera la inclusión de un proyecto en una cartera, y un portafolio debe ser equilibrado evitando un compromiso excesivo con proyectos de alto riesgo que puedan poner en peligro el futuro de la organización.

#### d) Investigación de mercados

Los enfoques de investigación de mercado se pueden utilizar para recopilar datos para pronosticar la demanda de nuevos productos o servicios, basados en conceptos o prototipos presentados a clientes potenciales, para evaluar el mercado potencial.

El uso de técnicas específicas de evaluación de proyectos depende de la situación. Las medidas utilizadas pueden ser cualitativas o cuantitativas, pero independientemente de qué técnicas se usen para derivarlas, se deben elegir un conjunto de medidas comunes para que los proyectos se puedan comparar de manera equitativa durante la selección de la cartera.

Por otra parte, los proyectos actuales que han alcanzado importantes hitos deben volver a evaluarse al mismo tiempo que se consideran los nuevos proyectos para la selección. Esto permite que se genere una cartera combinada dentro de las restricciones de recursos disponibles.

## 2.6. Técnicas para la selección de la cartera de proyectos

La selección de la cartera implica la comparación simultánea de una serie de proyectos en dimensiones particulares, con el fin de llegar a una clasificación deseable de estos. Los proyectos mejor calificados según los criterios de evaluación se seleccionan para la cartera, sujeto a la disponibilidad de recursos.

Los problemas de selección de cartera se pueden dividir en dos clases principalmente: problemas dinámicos y estáticos.

En los problemas dinámicos, en cada toma de decisión hay proyectos que ya han comenzado; denominados como proyectos activos, y un conjunto de proyectos propuestos, conocidos como proyectos candidatos. Estos problemas en la práctica son abordados mediante las técnicas ad hoc.

Si nos interesa el caso estático, entonces consideraremos que en el momento de la decisión todos los proyectos son candidatos. Este es el caso más común en problemas de selección de carteras de proyectos.

Las clases de técnicas de selección de portafolio disponibles incluyen:

### a) Enfoques comparativos

En estos métodos, primero se determinan los pesos de los diferentes objetivos, para posteriormente comparar las alternativas en función de su contribución. Finalmente, se calcula una serie de medidas de beneficio del proyecto. Una vez que los proyectos se han organizado en una escala comparativa, los tomadores de decisiones pueden proceder comenzando por parte superior de la lista, a seleccionar los proyectos hasta que se agoten los recursos disponibles. Con estas técnicas, se pueden considerar criterios tanto cuantitativos como cualitativos.

Dentro de estos modelos, los más utilizados son: conteo de la dominancia y el método de escala anclada. El primero de ellos considera todos los proyectos en conjunto. Realiza una jerarquización de los proyectos en función de la dominancia de cada uno de ellos con respecto del resto para cada uno de los criterios. De este modo, el proyecto más dominante en todos los aspectos será seleccionado en primer lugar, el segundo de ellos en segundo lugar, y así sucesivamente. En el segundo de los métodos se selecciona de manera subjetiva el mejor y el peor proyecto de entre todos los existentes. Al primero se le asignará una puntuación de 100 y al segundo 0. A continuación, se seleccionará otro proyecto cualquiera y se comparará con esos dos proyectos

primero y último, para todos los criterios. De este modo, si este tercer proyecto seleccionado es la mitad de bueno que el anterior se le otorga una puntuación de 50, si es un tercio de bueno, se le otorgará una puntuación de 33, y así sucesivamente para cada proyecto (Carazo et al. 2008).

Una gran desventaja de este método es la gran cantidad de comparaciones involucradas, lo que las hace difíciles de usar para comparar grandes cantidades de proyectos. Además, cada vez que se agrega o elimina un proyecto de la lista, el proceso debe repetirse de nuevo.

#### b) Puntuación de modelos

Esta técnica utiliza un número relativamente pequeño de criterios de decisión, como el costo, la disponibilidad de la fuerza de trabajo, la probabilidad de éxito técnico, etc., para especificar la conveniencia del proyecto. La puntuación de cada proyecto se determina con respecto a cada criterio. A continuación, se combinan las puntuaciones para obtener el beneficio general para cada proyecto.

Algunos métodos de puntuación son: Las *checklist* o el método de puntuación o *scoring* tradicional. Mientras que en el caso de las *checklist* se evalúa cada proyecto en función de cada criterio seleccionado concediendo a estos la misma importancia; en el *scoring* tradicional se puede conceder una ponderación diferente a cada uno de los criterios (Carazo et al. 2008).

Una ventaja importante es que los proyectos se pueden agregar o eliminar sin volver a calcular la puntuación de todos los proyectos.

#### c) Matrices

Se puede utilizar como herramientas estratégicas de toma de decisiones. También se pueden utilizar para priorizar y asignar recursos entre proyectos competidores. Esta técnica se basa en representaciones gráficas de los proyectos que se están examinando, en dos dimensiones, como la probabilidad de éxito y el valor económico esperado (EV). Esto permite que se seleccione una combinación representativa de proyectos en las dimensiones representadas.

#### d) Modelos de optimización

Este método selecciona de la lista de proyectos candidatos un conjunto que proporciona el máximo beneficio. Estos modelos se basan generalmente en



alguna forma de programación matemática, para apoyar el proceso de optimización e incluir interacciones de proyectos tales como dependencias de recursos y restricciones, interacciones técnicas y de mercado, o consideraciones de programa. Las razones probables para el desuso incluyen la necesidad de recolectar grandes cantidades de datos de entrada, la incapacidad de la mayoría de estos modelos para incluir el riesgo consideraciones y la complejidad del modelo.

Con todo esto, es complicado implementar un método adecuado para la selección óptima de una cartera de proyectos. De este modo, en el siguiente apartado se describen algunas consideraciones a tener en cuenta a la hora de seleccionar el mejor de los métodos.

## 2.7. Consideraciones a tener en cuenta para una correcta selección de la cartera

Las siguientes consideraciones son fundamentales a la hora de realizar una correcta selección de carteras:

### 2.7.1. Interdependencias de los proyectos

Deben tenerse en cuenta las interacciones de proyectos a través de dependencias directas o competencia de recursos. A la hora de seleccionar la cartera de proyectos óptima, es de vital importancia tener en cuenta la interdependencia que puede existir entre proyectos. Por ejemplo, puede darse una relación entre proyectos tal que, el proyecto A no pueda ser llevado a cabo hasta la finalización del proyecto B.

En general, según Weistroffer (2005) las dependencias entre las distintas alternativas se pueden clasificar en tres tipos:

#### a) Aditivas:

Todas las dependencias pueden ser clasificadas como restricciones “mutuamente excluyentes”. La función objetivo de la cartera es aditiva con respecto a los atributos alternativos correspondientes. Este tipo de problemas pueden ser resueltos mediante Sistemas de Soporte a la decisión (DSS) multicriterio.

b) Multiplicativas:

Existen ciertas dependencias que se pueden clasificar como multiplicativas en términos de interacción con en el objetivo de la cartera.

Esta es una forma de representar los efectos sinérgicos existentes entre las distintas alternativas.

c) Complejas:

Una dependencia es clasificada como compleja, si esta no puede ser modelada por ninguna de las opciones especificadas anteriormente. Estas dependencias pueden comprender atributos de la cartera que no sean propiedades de las alternativas individuales.

Para modelar estas interacciones entre proyectos, Schmidt (1993) propone un modelo de matrices de interacciones. En esta matriz, la diagonal representaría la contribución del proyecto de manera individual, mientras que los valores fuera de esta representarían las contribuciones debido a la interacción entre el proyecto *i* y el proyecto *j*.

Estas aportaciones debidas a las interacciones pueden ser positivas, negativas o nulas. De este modo, el valor de una cartera dado un criterio no es igual a la suma de los valores según ese criterio en los diferentes proyectos; sino que es necesario combinar los efectos de las interacciones entre los proyectos de dicha cartera.

### 2.7.2. Naturaleza del tiempo

La selección de cartera debe tener en cuenta la naturaleza de tiempo dependiente del consumo de recursos del proyecto. Muchas técnicas de selección de carteras no tienen en cuenta los requisitos de recursos dependientes del tiempo de los proyectos, y más bien asumen que todos los proyectos seleccionados comenzarán en el mismo instante de tiempo. Esto no sucede de este modo en la realidad, donde los proyectos compiten por recursos limitados.

Por ejemplo, Dickinson et al. (2001) en su artículo considera de manera simultánea el tiempo y las interrelaciones entre los proyectos a la hora de seleccionar la cartera de proyectos.

### 2.7.3. Involucrar en el proceso a los tomadores de decisiones

Los encargados de la toma de decisiones deben disponer de mecanismos interactivos para controlar y anular las selecciones de carteras generadas por cualquier algoritmo o modelo, y también deben recibir retroalimentación sobre las consecuencias de dichos cambios. Uno de los inconvenientes de los métodos de selección de la cartera óptima de proyectos es que pueden proceder a la selección de carteras sin intervención de los tomadores de decisiones que deseen realizar ajustes deseables a la cartera seleccionada. Del mismo modo, estos deberán ser informados sobre las consecuencias resultantes, en términos de cambios de optimalidad y efectos sobre los recursos.



## 3. MÉTODOS PARA LA PRIORIZACION EN LA SELECCIÓN DE PROYECTOS

---

### 3.1. Introducción

Cuando los profesionales planifican el presupuesto de capital (proceso por el cual los gerentes de la organización identifican las oportunidades de inversión rentables para la compañía), a menudo forman una lista prioritaria de proyectos candidatos, estudiando los proyectos individualmente, empleando medidores económicos como por ejemplo el valor actual neto (VAN), el método del *pay-back*, la tasa interna de retorno...

Numerosos estudios muestran que, estas listas de prioridad construidas empleando estas medidas simples de clasificación son inferiores a la asignación de fondos a proyectos de capital empleando variables de un modelo de Mochila Múltiple.

El método de la Mochila Múltiple toma como entrada una previsión presupuestaria junto con la corriente de pasivos y las ganancias de cada proyecto. Este método consta de: una variable binaria de decisión para cada proyecto para indicar si este está seleccionado, una restricción presupuestaria por cada periodo de tiempo y el objetivo de maximización del beneficio total.

La salida de este método será un conjunto de proyectos a llevar a cabo, refiriéndose como conjunto de proyectos, a una cartera de proyectos.

Si los costes y las ganancias de estos proyectos candidatos, así como los presupuestos de los próximos años son conocidos con certeza, el método de la Mochila Múltiple proporcionaría una herramienta atractiva para la selección de carteras de proyectos.

Sin embargo, es habitual encontrarse con parámetros de entrada inciertos. Como solución, una opción sería volver a resolver el modelo de Mochilas Múltiples cuando estos pronósticos se encuentren disponibles; pero, desafortunadamente, esto no es siempre viable.

Un ejemplo sería el siguiente: Se supone que se ha empleado un método de Mochila Múltiple en un proceso de presupuesto de capital para formar una cartera de proyectos.

En un determinado momento a lo largo del tiempo, el presupuesto disminuye por algún motivo; como puede ser el sobrecosto de algún proyecto en particular.

Esta disminución del presupuesto origina que ciertos proyectos no puedan llevarse a cabo, por lo que el método de la Mochila Múltiple no estaría diseñado para abarcar este escenario.

A pesar de que, gracias a la experiencia adquirida, los tomadores de decisiones tienen una correcta intuición a la hora de seleccionar listas de prioridades sólidas con respecto a los posibles cambios en el presupuesto, en los costos o en el beneficio del proyecto; estas listas no logran captar dependencias entre proyectos.

Por lo tanto, sería beneficioso tener un enfoque para priorizar proyectos, que capture las dependencias entre estos, mediante el empleo de una clase de heurísticas conocidas como *Greedy Heuristics*. Así, los análisis asociados podrían ser de gran utilidad para los tomadores de decisiones.

Los apartados 3.2 y 3.3 introducen los métodos de priorización de carteras de proyectos, desarrollados en este trabajo.

## 3.2. Método de la Mochila

### 3.2.1. Definición

El problema de la Mochila o *knapsack problem* (KP) es un problema clásico de Optimización Combinatoria . Este problema es considerado del tipo *Non Probabilistic Problem* (NP) ya que su resolución mediante métodos exactos se encuentra limitada. Por esta razón, se han propuesto enfoques heurísticos y metaheurísticos para poder lograr una aproximación de la solución razonable, pero sin asegurar alcanzar la optimalidad (Alaya, 2009).

Según Alaya (2009), para cada problema de optimización se puede asociar un problema de decisión donde el objetivo sea el de determinar si existe una solución para la cual la función objetivo sea superior (o inferior) o igual a un valor dado. La complejidad de un problema de optimización está ligada a aquella del problema de decisión al que se encuentra asociada. Por lo tanto, si el problema de decisión es clasificado como NP-completo, entonces el problema de optimización es referido como NP-difícil.

La optimización combinatoria encuentra aplicaciones en campos tan diversos como administración, ingeniería, diseño, producción, telecomunicaciones, transporte, energía, ciencias sociales e informática.

En este método de la Mochila, se da un conjunto de elementos cada uno con un tamaño y valor. El objetivo es encontrar un subconjunto de elementos que

logren alcanzar el máximo beneficio total respetando las restricciones de capacidad (Laabadi et al., 2018).

Según los tipos de datos de los que dispongamos a la hora de resolver el problema, hay dos versiones de este método de la Mochila:

Determinista y No Determinista o Estocástica. En la primera versión, se supone que todos los datos se conocen de antemano. Sin embargo, este no es el caso en la segunda (Laabadi et al., 2018).

### 3.2.2. Variantes

Dados N ítems con beneficios positivos y una mochila con dimensiones d. Cada ítem i tendrá un peso  $w_{ij}$  para cada dimensión j y la cartera tendrá una capacidad máxima  $C_j$ .

El objetivo es maximizar la suma de los beneficios de los elementos en la mochila para que la suma de pesos en cada dimensión j no exceda de  $C_j$ .

a) Método de la Mochila estándar:

De manera genérica, la formulación del método de la Mochila se define como:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \sum_{i=0}^N p_i x_i \\ & \text{s.t.} \sum_{i=0}^N w_{ji} x_i \leq C_j, \forall j = 1 \dots d \\ & x_i \in \{0,1\} \forall i = 1 \dots N \end{aligned}$$

Figura 1: Formulación genérica método de la Mochila

La primera ecuación correspondería con la función objetivo a maximizar.

La segunda, correspondería con la restricción de cumplimiento de la capacidad máxima de la mochila

La tercera indica que  $x_i$  es una variable de decisión binaria. Esta es igual a 1 si se selecciona el elemento i y 0 en caso contrario.

Si existe una única dimensión y el valor de  $d=1$ , la formulación del modelo quedaría simplificada:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \sum_{i=0}^N p_i x_i \\ & \text{s.t.} \sum_{i=0}^N w_i x_i \leq C \\ & x_i \in \{0,1\} \forall i = 1 \dots N \end{aligned}$$

Figura 2: Formulación genérica método de la Mochila una sola dimensión

### b) Método de la Mochila Múltiple

El problema multidimensional de la mochila 0-1 (MKP) es un caso especial de programas lineales generales 0-1. Son varios los nombres que hacen referencia a este tipo de problemas: problema de mochila multidimensional, problema de la mochila múltiple, problema de mochila 0-1 con múltiples restricciones....

Los problemas MKP son una generalización del problema de mochila estándar 0-1.

En este caso, al existir más de una dimensión, la formulación del método sería la siguiente:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \sum_{i=0}^N p_i x_i \\ & \text{s.t.} \sum_{i=0}^N w_{ji} x_i \leq C_j, \forall j = 1 \dots d \\ & x_i \in \{0,1\} \forall i = 1 \dots N \end{aligned}$$

Figura 3: Formulación genérica Método de la Mochila Múltiple

En este tipo de problemas, se puede suponer con carácter general que:

$p_j > 0, C_j > 0, 0 \leq w_{ji} \leq C_j$  y que  $\sum_{i=1}^N w_{ji} > C_j$  para todo  $i \in N$  y para todo  $j \in D = \{1 \dots d\}$

El MKP es uno de los problemas de optimización combinatoria más conocidos, y el gran dominio de sus aplicaciones ha contribuido enormemente a su fama. Estos problemas se han aplicado intensamente en aplicaciones de presupuesto de capital y selección de proyectos.



En el caso de Meier et al. se investigaron enfoques más realistas combinando modelos de presupuesto de capital con técnicas novedosas y reales para la evaluación de proyectos. En su artículo proponen dos modelos de presupuesto de capital que incorporan la flexibilidad a la hora de posponer la decisión de aceptar un proyecto.

La comparación de carteras de proyectos y de sus objetivos óptimos relacionados demuestran que, la formulación de un modelo de presupuesto de capital es crucial y puede tener un impacto importante en el rendimiento global de una corporación.

Otro ejemplo es el caso de Beaujon et al., (2001) quienes diseñaron una formulación para seleccionar proyectos para su inclusión en una cartera de I + D. Este modelo toma la forma de un MKP con otras restricciones generalizadas.

En su artículo se afirma que, su modelo de programación proporciona una valiosa herramienta cuantitativa para apoyar la toma de decisiones en este contexto.

A pesar de los recientes avances relacionados con la resolución de problemas de MKP de tamaño medio, los métodos heurísticos siguen siendo una alternativa competitiva, especialmente cuando el número de restricciones es grande.

Una de las heurísticas más empleadas a la hora de resolver este tipo de problemas es las *Greedy Heuristics* o “algoritmos voraces”, las cuales se introducen en el siguiente apartado.

### 3.3. Greedy Heuristics

#### 3.3.1. ¿Qué son?

Un algoritmo, según la Real Academia Española se define como “Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema”. Los algoritmos son herramientas importantes para resolver problemas computacionalmente. Todos los cálculos involucran algoritmos, y la eficiencia de un algoritmo determina en gran medida su utilidad.

Existen varios tipos de algoritmos: algoritmos exactos, algoritmos aproximados o algoritmos heurísticos. Estos últimos proporcionan soluciones con una garantía de optimalidad mucho menor que las soluciones obtenidas mediante los otros algoritmos.

Los “algoritmos voraces” (*greedy heuristics*) son algoritmos heurísticos empleados en problemas generalmente de optimización. El propósito de un algoritmo voraz es encontrar una solución, tal que el valor de la función objetivo sea óptimo . Esta función objetivo puede ser de maximización o de minimización, dependiendo del problema en cuestión. Para ello sigue un proceso secuencial en el que, en cada paso, selecciona el óptimo local de cada etapa, para finalmente encontrar el óptimo global (Cormen et al. 2001).

Por otra parte, cada etapa, comprueba que la nueva decisión junto con todas las tomadas anteriormente no viola las restricciones y así consigue una nueva secuencia de decisiones factible.

De este modo, cada elemento a considerar se evalúa una única vez, siendo descartado o seleccionado, de tal forma que si es seleccionado forma parte de la solución, y si es descartado, no forma parte de la solución ni volverá a ser considerado para ese escenario.

Sin embargo, la calidad de la solución proporcionada por estos algoritmos depende de las características del problema a resolver; es decir, puede arrojar muy buenos resultados para determinadas instancias del problema, pero para otras no. Otro inconveniente que presentan es que se estancan en seleccionar los óptimos locales de las funciones a optimizar y quizá no analizan más allá, por lo que pueden estar dejando de considerar el óptimo global.

En los próximos capítulos se mostrará la aplicación de este tipo de algoritmos como método de resolución de un problema de optimización.

### 3.3.2. Greedy Heuristics VS programación dinámica

Mientras que las *Greedy Heuristics* buscan el óptimo local en cada etapa, para finalmente obtener el óptimo global, la programación dinámica difiere totalmente en este punto.

En la mayoría de los problemas de optimización, el empleo de la programación dinámica para determinar la mejor de las soluciones es excesivo; el empleo de algoritmos más simples y eficientes como son los “algoritmos voraces”, pueden proporcionarnos una mejor solución (Cormen et al., 2001).

En los problemas de programación dinámica, se toman decisiones en cada etapa, sin embargo, esta solución depende de la solución obtenida en los subproblemas. Es por esto, que los problemas de programación dinámica suelen resolverse de “abajo hacia arriba”, es decir, partiendo de subproblemas pequeños a otros mayores.

De este modo, la elección realizada por un algoritmo voraz puede depender de las elecciones hasta el momento, pero no puede depender de ninguna elección futura o de las soluciones de los subproblemas.

Antes de emplear los “algoritmos voraces” como método de resolución de un problema típico de Mochila Múltiple, se debe analizar si realmente el método es el adecuado para el problema en cuestión, ya que ningún método es apto para todas las casuísticas.

### 3.4. Planteamiento de la problemática

Los siguientes apartados de este capítulo, se basarán en el artículo escrito por Ali Koç et al. (2009) *Prioritizing Project Selection*, *The Engineering Economist*, para explicar las diferentes problemáticas que podrán encontrarse en distintos métodos de priorización de carteras de proyectos, para, en último lugar concluir con el método óptimo.

De este modo, el camino de investigación descrito en el artículo es el siguiente:

#### a) Cartera óptima de proyectos

En primer lugar, se debe investigar si la solución óptima para el método de mochilas múltiples produce una lista de prioridades sólida para las incertidumbres que pudieran presentarse.

#### b) Heurística para priorización de proyectos

Al demostrar que no lo hace, se modifica el método de la mochila múltiple mediante una heurística, forzándolo a producir una lista priorizada de proyectos.

Se describen una clase de formas de hacerlo según el valor del presupuesto inicial, y se denominan a estas listas de prioridades *Greedy Heuristics*. También se construyen listas de prioridades heurísticas usando el VAN y el BIR, como se hace comúnmente en la práctica.

El VAN o Valor Actual Neto, es un indicador financiero que se emplea para determinar la viabilidad de un proyecto.

La metodología consiste en descontar al momento actual todos los flujos de caja o cash-flow futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial.

Por otra parte, el BIR (*Benefit-Investment ratio*) o en castellano denominado Índice de Rentabilidad, es un índice que intenta identificar la relación entre los costos y beneficios de un proyecto propuesto. De este modo, un Índice de Rentabilidad de 1, es la medida más baja aceptable; ya que cualquier valor inferior a 1 supondría un VAN inferior a 0 y por lo tanto el proyecto no sería viable.

### c) Priorización óptima de proyectos

Se formula un modelo que incorpora múltiples escenarios de presupuesto, costo y ganancias y forma una lista de prioridad óptima, que maximiza el VAN esperado de la cartera de proyectos.

El modelo creado para priorizar proyectos en presupuestos de capital es un programa entero estocástico en dos etapas. Según la R.A.E. la definición de estocástico sería:

“Teoría estadística de los procesos cuya evolución en el tiempo es aleatoria, tal como la secuencia de las tiradas de un dado”

En este método, las variables de entrada incluyen las descritas anteriormente en el método de la mochila múltiple excepto que existe una descripción probabilística de los parámetros inciertos, tales como: los costes, los beneficios anuales de cada proyecto y los presupuestos anuales.

Este programa estocástico, establece una lista de prioridades en su primera etapa para posteriormente formar durante su segunda etapa, una cartera de proyectos para cada escenario existente.

Se supone que estos parámetros inciertos son válidos para todo el periodo de planificación de acuerdo con la lista de prioridades establecida.

Al haberse creado una cartera de proyectos durante esta segunda etapa en un escenario específico, el modelo garantiza que la cartera sea consistente con la priorización establecida en la primera etapa.

Esto querrá decir que, un proyecto podrá ser seleccionado únicamente si también se seleccionan los proyectos de mayor prioridad; así, las carteras de proyectos correspondientes a varios escenarios se encuentran anidadas.

Los proyectos pueden abarcar varios años, por ejemplo, un proyecto puede tener una duración de 5 años.

Mediante los flujos de costos estocásticos, dicho modelo puede comprender el hecho de que la duración de un proyecto pueda ser aleatoria.

Para explicar esta problemática se utilizarán datos de una planta de energía nuclear llamada STPNOC.

### 3.5. Cartera óptima de proyectos

Como se indicó anteriormente, el presupuesto de capital se formula clásicamente utilizando variantes de un problema de Mochila Múltiple. De un modo más específico, dado un conjunto de proyectos candidatos, y aportando las estimaciones puntuales del valor del VAN de cada proyecto, así como su costo y los presupuestos anuales disponibles, el objetivo es encontrar un subconjunto de proyectos que maximice el total del VAN dentro del presupuesto total anual.

Cuando se considera un solo año, el problema se puede entender como empaquetar una mochila con artículos de diferente volumen y utilidad, de modo que los artículos seleccionados encajen en la mochila y maximicen la utilidad total.

Cuando el horizonte temporal incluye varios años y la selección de un proyecto puede comprometer fondos en más de un año, existen múltiples restricciones de mochila, es decir, restricciones presupuestarias, a satisfacer. De ahí el nombre Mochila Múltiple.

En este punto, se comienza considerando únicamente el presupuesto como variable estocástica. Sin embargo, en el método Óptimo de priorización propuesto en este capítulo, los costos y beneficios también son considerados como inciertos.

La notación y la formulación del modelo de Mochila Múltiple para este problema son las siguientes:

Índices y conjuntos:

$i \in I$	Proyectos candidatos
$t \in T$	Periodo de tiempo (años)

Tabla 1: Índices y conjuntos método de la Mochila Múltiple

Datos:

$a_i$	VAN del proyecto $i$
$b_t$	Presupuesto disponible en el año $t$
$c_{it}$	Coste del proyecto $i$ para el año $t$

Tabla 2: Datos formulación método de la Mochila Múltiple

Variables de decisión:

$x_i$	Será 1 si el proyecto es seleccionado, 0 en caso contrario
-------	--

Tabla 3: Variables de decisión Método de la Mochila Múltiple

Formulación:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \sum_{i=0}^N a_i x_i \\ & \text{s.t.} \sum_{i=0}^N c_{it} x_i \leq b_t, \forall t \in T \\ & x_i \in \{0,1\} \forall i \in I \end{aligned}$$

Figura 4: Formulación Método de la Mochila Múltiple

La función objetivo es maximizar la suma total de los VAN de los proyectos seleccionados de acuerdo con el cumplimiento de la restricción presupuestaria.

La restricción garantiza que el costo anual de los proyectos seleccionados esté dentro del presupuesto para cada año  $b_t$ , con  $t \in T$ .

La solución óptima para este modelo de Mochilas Múltiples proporciona la cartera de proyectos a seleccionar que maximiza el VAN total y se mantiene dentro de los presupuestos anuales.

Para comprender este modelo, se considera un ejemplo numérico con 16 proyectos (Ver Tabla 4), cada uno con responsabilidades en algunos o en todos los próximos 5 años. Estos proyectos son de STPNOC y se seleccionaron porque constituían un conjunto de proyectos que estaban cerca del punto de corte del presupuesto, algunos de los cuales fueron financiados y otros no.

Proyecto $i$	Costes Anuales $C_{it}$					VAN ( $a_i$ )	IR
	1	2	3	4	5		
1	0,219	0,257	0,085			2,315	4,405
2			0,122	0,103	0,013	0,824	4,328
3	5,044	1,839				22,459	3,338
4	6,740	6,134	10,442			60,589	2,871
5	0,425					0,667	1,569
6	2,125	2,122				5,173	1,272
7	2,387	0,190	0,012	2,383	0,192	4,003	0,883
8		0,950				0,582	0,669
9	0,030	0,030	0,688			0,122	0,192
10		0,200	0,763	0,739	2,539	-2,870	-0,905
11	0,081	0,032				-0,102	-0,925
12	0,300					-0,278	-0,927
13	0,347					-0,322	-0,928
14	4,025	0,297				-3,996	-0,930
15	0,095	0,095	0,095			-0,246	-0,940
16	5,487	5,664	0,500	6,803	6,778	-20,155	-0,957

Tabla 4: Datos STPNOC

Se observa que el IR de ciertos proyectos es negativo, por lo que los proyectos 10-16 no se consideran candidatos a formar parte de la cartera.

Al tratarse de un problema de Mochila Múltiple, se resuelven 10 casuísticas para este modelo para diferentes valores de presupuesto disponible ( $b_t$ ) desde  $b_1=11$ M de dólares, hasta  $b_{10}=20$  M de dólares para cada uno de los 5 años del horizonte del problema.

Si los conjuntos de proyectos seleccionados a medida que se aumenta el presupuesto de \$ 11M a \$ 20M están anidados, es decir, la cartera de

proyectos en cada nivel de presupuesto es un superconjunto de todos aquellos con niveles de presupuesto más bajos, entonces el modelo de Mochila Múltiple ofrecería una solución priorizada. Sin embargo, tras obtener la solución mediante este método, se puede observar en la Tabla 5 que esto no es así. Algunos de los proyectos son parte de la cartera para un nivel de presupuesto particular, pero están ausentes de la cartera en niveles de presupuesto más altos.

Presup. (bt) \$M	Proyectos candidatos $X_i$									VAN (\$M)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
11	1	1	0	0	1	0	0	1	0	-23,58
12	1	1	0	0	1	0	0	1	1	-23,46
13	1	1	0	0	0	1	0	1	1	-18,95
14	1	1	0	0	1	1	0	1	1	-18,29
15	0	1	0	0	0	1	1	1	1	-17,27
16	1	1	1	0	0	0	0	1	1	-1,67
17	1	1	1	0	1	0	0	1	1	-1,00
18	1	1	0	1	1	0	0	1	1	37,13
19	1	1	0	1	1	0	0	1	1	37,13
20	1	1	0	1	1	1	0	1	1	42,30

Tabla 5: Carteras STPNOC obtenidas Mochila Múltiple

Esta es una situación típica en problemas de Mochila y, más generalmente, en problemas de optimización combinatoria con recursos limitados. Este fenómeno representa un problema importante para los responsables de la toma de decisiones en nuestro entorno, ya que puede dar lugar a una menor confianza en las decisiones de selección de proyectos recomendadas por el modelo de Mochila Múltiple.

### 3.6. Heurística para priorización de proyectos

La inestabilidad de la cartera de proyectos obtenida en el método de la Mochila Múltiple debido a los cambios en el presupuesto, provocan la búsqueda de otra metodología.

Una primera aproximación al problema sería resolver este primer modelo para un valor del presupuesto de 11M de dólares obteniendo una determinada cartera óptima. Posteriormente se resolvería este mismo problema para un



valor de presupuesto de 12M, pero con la condición de que todos los proyectos incluidos en la cartera inicial sigan formando parte de esta nueva.

Se continúa de esta manera a mayores niveles de presupuesto hasta alcanzar los 20M. El resultado es una colección anidada de carteras (Ver Figura 6), de la que se puede extraer con facilidad una lista de prioridades.

Presup. (bt) \$M	xi									VAN (\$M)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
11	1	1	0	0	1	0	0	1	0	-23,58
12	1	1	0	0	1	0	0	1	1	-23,46
13	1	1	0	0	1	0	0	1	1	-18,95
14	1	1	0	0	1	1	0	1	1	-18,29
15	1	1	0	0	1	1	0	1	1	-17,27
16	1	1	0	0	1	1	1	1	1	-1,67
17	1	1	0	0	1	1	1	1	1	-1,00
18	1	1	0	0	1	1	1	1	1	37,13
19	1	1	0	0	1	1	1	1	1	37,13
20	1	1	0	0	1	1	1	1	1	42,30

Tabla 6: Cartera de proyectos STPNOC mediante Greedy Heuristics

En este caso, se obtiene la siguiente lista de prioridad:

$$\mathcal{L} = [(1, 2, 5, 8), (9), (6), (7), (3, 4)].$$

Los proyectos en el grupo (1, 2, 5, 8) reciben la máxima prioridad porque se financian para todos los niveles presupuestarios que consideremos. Siguen los proyectos 9, 6 y 7, priorizados en ese orden. El Proyecto 9 se financia si el presupuesto es de 12M o más, el proyecto 6 si es de 14M o más, y el proyecto 7 si el presupuesto es de 16M o más. Finalmente, los proyectos 3 y 4 recibieron la prioridad más baja porque no están financiados incluso con el nivel de presupuesto más alto de 20 millones.

Debido a esta nueva restricción no presente en el método de la Mochila Múltiple, los valores ahora obtenidos del VAN son menores que los anteriores. Esta diferencia es especialmente significativa en los valores de presupuesto más grandes. Esto se debe a que, si el presupuesto cada vez es mayor, se irán incorporando a la cartera nuevos proyectos que se ajusten a este incremento de presupuesto. Aunque el objetivo a maximizar sea el VAN, esta restricción presupuestaria obliga a no poder seleccionar el proyecto 4 para ninguno de los presupuestos, a pesar de tener el valor del VAN más alto.

En la práctica, el proyecto 4 probablemente sea financiado por la administración porque sus beneficios son muy claros.

Se puede plantear también el problema heurístico resolviendo de nuevo el problema, pero ahora comenzando por el nivel más alto de presupuesto disponible. Después, se reducirá a un presupuesto de 19M y así sucesivamente hasta llegar al menor de ellos, teniendo en cuenta que se deben seleccionar los proyectos que se encontraban en las carteras superiores, es decir forzar carteras anidadas.

De nuevo, esto lleva a un agrupamiento de carteras de proyectos en diferentes niveles de presupuesto de los que se pueden extraer una lista de prioridades. Dadas las técnicas crecientes y decrecientes para forzar carteras anidadas, se comienza por resolver el modelo en cualquier nivel de presupuesto intermedio; por ejemplo, se puede partir de un presupuesto de 17M de dólares y posteriormente incrementarlo o disminuirlo. Estas heurísticas, buscan obtener la optimización del problema mediante la búsqueda de soluciones óptimas en cada etapa.

Por supuesto, se pueden calificar los proyectos también individualmente, por ejemplo, mediante el valor de su VAN o su BIR, para formar una lista de prioridades denominadas *ranking heuristics* o heurísticas de clasificación. Se usan las designaciones H-BIR y H-VAN para denotar las *ranking heuristics* basadas en las relaciones de beneficio-inversión de los proyectos y valores actuales netos (VAN), respectivamente.

Para evaluar la calidad de una lista de prioridades, se necesita un modelo de incertidumbre que rija el cumplimiento de los beneficios, los costos y los presupuestos anuales del proyecto. En este punto, se asignan probabilidades relativamente bajas a los presupuestos lejos del presupuesto objetivo, ya que, en la práctica, la administración probablemente solo apruebe los presupuestos de capital relativamente cerca de algún objetivo. Para este ejemplo, estas probabilidades se asignaron de manera ad hoc; es decir, fueron elaboradas específicamente para este problema, siendo seleccionadas de tal manera que representaran valores aceptables.

Se asume que el valor presupuestario más probable es de 17M. En algunos escenarios, el presupuesto es mayor, y la función de probabilidad para estos valores mayores de 17M se asume que disminuye de manera lineal. Al contrario, el presupuesto real puede ser inferior a 17M, y en este caso la función de probabilidad disminuye de manera exponencial.

Bajo una distribución de probabilidad dada, se calculan los nuevos valores del VAN para cada uno de los presupuestos empleando la heurística.

Al examinar los resultados de la Tabla 7, se observa que, mediante esta heurística, a un valor de presupuesto mayor en el rango de 11M a 20M se permite la selección de proyectos de mayor costo, que también son de mayor VAN.

Heurística	Lista de prioridad	VAN (\$M)
H-11	[[{1,2,5,8}, {9}, {6}, {7}, {3,4}]]	-15,42
H-12	[[{1,2,5,8}, {9}, {6}, {7}, {3,4}]]	-15,42
H-13	[[{1,2,8,9}, {6}, {5}, {7}, {3,4}]]	-15,29
H-14	[[{1,2,8,9}, {6}, {5}, {7}, {3,4}]]	-15,29
H-15	[[{2,8,9}, {6}, {7}, {1,5}, {3,4}]]	-15,5
H-16	[[{1,2,8,9}, {3}, {5}, {6}, {4,7}]]	-4,54
H-17	[[{1,2,8,9}, {3}, {5}, {6}, {4,7}]]	-4,54
H-18	[[{1,2,5,8}, {9}, {4}, {6}, {3,7}]]	2,59
H-19	[[{1,2,5,8}, {9}, {4}, {6}, {3,7}]]	2,59
H-20	[[{1,2,5,8}, {9}, {4}, {6}, {3,7}]]	2,59
H-BIR	[[{1,2}, {3}, {4,5,6,7,8,9}]]	-6,89
H-VAN	[[{4}, {1,2,3,5,6,7,8,9}]]	-2,4

Tabla 7: Lista de Prioridad STPNOC

Como se indicó anteriormente, el proyecto 4 es un proyecto que proporciona un gran VAN pero también incurre en altos costos. Las heurísticas H-11 a H-17 le dan al proyecto 4 la prioridad más baja posible porque no pueden elegir ese proyecto con su presupuesto inicial y, a medida que se incrementa el presupuesto, sus compromisos existentes no dejan espacio para el proyecto 4.

Nominalmente, las *ranking heuristics* producen una lista completamente ordenada. Por ejemplo, la lista ordenada de H-BIR es simplemente proyectos 1-9, en ese orden.

La lista de H-BIR indica que los proyectos 1 y 2 pueden realizarse en el nivel de presupuesto más bajo (11M), que el proyecto 3 se incluye en un nivel de presupuesto más alto (que es de 16M) y que el resto Los proyectos no están financiados, incluso al más alto nivel de presupuesto.

La priorización H-VAN se obtiene simplemente clasificando los proyectos de mayor a menor VAN.

Observando la solución que ofrece esta tabla, uno puede sentirse tentado a concluir que las *Greedy Heuristics* se desempeñan mejor si se inician niveles de presupuestos más grandes, pero la comparación de los modelos H-14 y H-15 ya muestra que esta idea no es cierta.

El hecho de que estas heurísticas ignoren la distribución de probabilidad significa que no se debe anticipar, en general, una heurística para dominar a las otras con respecto al VAN esperado.

Por otra parte, las *ranking heuristics* H-BIR y H-VAN ignoran el presupuesto, lo que apunta a un peligro potencial.

En resumen; estas heurísticas empleadas que ignoran los presupuestos o su probabilidad de ocurrencia pueden llevar a listas de prioridad arbitrariamente deficientes. La siguiente sección formula un nuevo modelo que produce una lista de prioridad óptima al incorporar una distribución de probabilidad que rige el cumplimiento del presupuesto, el costo y el beneficio.

### 3.7. Priorización óptima de proyectos

En esta sección, se crea un modelo que incorpora explícitamente múltiples escenarios de presupuesto, costo e ingresos, con el fin de obtener una lista de prioridades óptima.

Este nuevo modelo, es un programa entero estocástico de dos etapas. Las variables de decisión de la primera etapa forman la lista de prioridades y establecen la prioridad entre los proyectos en función de su clasificación respectiva en la lista.

La variable de decisión de la segunda etapa selecciona la cartera de proyectos a implementar en cada escenario.

En este modelo, al igual que el anterior, el valor del presupuesto es incierto; pero además también maneja la incertidumbre en las ganancias y costos de los proyectos.

Aplicando este nuevo modelo, la lista obtenida por las heurísticas H-18, H-19 y H-20 encuentra la lista de prioridad óptima, tal y como se aprecia en la Tabla 8. Las otras heurísticas producen listas sustancialmente inferiores al obtener un VAN esperado más bajo. Tal vez, no sea sorprendente que al priorizar un pequeño conjunto de proyectos candidatos (en este caso consistiendo en solo 9 proyectos) utilizando múltiples heurísticas, algunas de esas heurísticas encuentran la solución óptima.

H-11, H12		H-15		H-17		H-18--H-20, Óptimo	
Prioridad	Proyecto	Prioridad	Proyecto	Prioridad	Proyecto	Prioridad	Proyecto
1-4	1,2,5,8,	1-3	2,8,9	1-4	1,2,8,9	1-4	1,2,5,8
5	9	4	6	5	3	5	9
6	6	5	7	6	5	6	4
7	7	6-7	1,5	7	6	7	6
8-9	3,4	8-9	3,4	8-9	4,7	8-9	3,7
-15,42		-15,5		-5,54		2,59	

Tabla 8: Lista de Prioridades STPNOC método Óptimo

Este resultado tampoco es sorprendente, dada la naturaleza dominante del proyecto 4 y el hecho de que las heurísticas H-18, H-19 y H-20 tienen un presupuesto suficiente para incluir ese proyecto en su cartera.

Comparando el resultado para el problema de priorización para cada uno de los escenarios presupuestarios, con los resultados de la heurística H-11 para cada escenario de presupuesto, se observa que la lista de prioridad óptima tiene un desempeño inferior al de la lista de prioridades de las *Greedy Heuristics* para los escenarios presupuestarios de 14M-17M (Tabla 7).

Sin embargo, para los grandes valores de presupuesto, la lista de prioridades óptimas supera significativamente la lista de prioridades de la heurística, como se ve en los VAN resultantes obtenidos para presupuestos entre 18M y 20M.

### 3.8. Conclusiones

En la práctica, es común utilizar medidas de rendimiento como el período de recuperación, la tasa de rendimiento interno, la relación beneficio-inversión y el valor actual neto para proyectos de capital individuales para formar una lista de prioridades. Tal enfoque no reconoce que los proyectos seleccionados actúen como una cartera, e ignorar este hecho puede conducir a resultados subóptimos. Las fuentes bibliográficas recomiendan que la presupuestación de capital se realice utilizando variantes de una formulación de problemas de Mochila Múltiple.

En este artículo se ha demostrado que tales soluciones pueden ser volátiles con respecto a los cambios en los valores del presupuesto. Esto puede ser desconcertante para los tomadores de decisiones, especialmente porque es casi seguro que las asignaciones presupuestarias respondan a los eventos emergentes. En este contexto, una lista de prioridades correctamente formada puede proporcionar un valioso enfoque para protegerse contra tales

incertidumbres, al menos cuando se deben tomar decisiones irreversibles antes de conocer las realizaciones del presupuesto.

Por otra parte, se ha discutido un modelo de priorización óptimo que incorpora explícitamente múltiples escenarios de presupuesto, costo y ganancias para desarrollar una lista de prioridad óptima que sea más sólida para eventos externos que impactan estos parámetros. Se ha demostrado que esta lista de prioridades puede superar las listas de prioridades formadas por medios heurísticos. Se han investigado las clasificaciones heurísticas utilizando VAN y BIR, así como una clase de heurísticas que se basan en la resolución de múltiples instancias del modelo de mochila múltiple.

Algunas veces nuestra heurística funcionó bien, pero en otros casos de problemas no lo hicieron. Un ejemplo mostró que incluso la mejor de las *Greedy Heuristic* puede tener un desempeño arbitrariamente pobre. Por lo tanto, no es posible obtener una garantía de rendimiento de factor constante.

Por este motivo, a menos que el límite superior del VAN esperado obtenido a través de la información perfecta se aproxime al VAN esperado obtenido por una heurística, se recomienda el uso del modelo de priorización óptimo.

## 4. CASO PRÁCTICO: PARTE 1

---

### 4.1. Introducción

En este capítulo se presenta un enunciado típico de priorización de carteras de proyectos. El objetivo de estos capítulos prácticos es comprobar que las conclusiones obtenidas por Ali Koç et al. en su artículo *Prioritizing Project Portfolio* (Ver Capítulo 3) pueden llevarse a la práctica de forma sencilla. Se ha realizado una simplificación del modelo propuesto por dichos autores, debido a la complejidad de la programación. En este caso se desarrolla un complemento Excel programado con VBA (Visual Basic for Applications) que permitirá a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Industriales de Valladolid completar su formación relacionada con la asignatura de Ingeniería Económica poniendo en práctica dos métodos de priorización de carteras de proyectos: la Mochila Múltiple y las *Greedy Heuristics*.

El contenido de este capítulo es el siguiente:

En primer lugar, se adjunta dicho enunciado; en segundo lugar, se expone la estructura de dicho complemento de manera genérica, para tener una visión general del mismo; para finalmente, explicar con detalle las pestañas correspondientes a datos y presupuestos.

### 4.2. Enunciado del problema

A continuación, se plantea un enunciado de un problema de priorización de carteras de proyectos.

En este enunciado se proporcionan los datos correspondientes a los flujos de caja anuales de 10 proyectos de partida, así como el valor de sus costes también por año.

Estos costes anuales se proporcionan ya que son necesarios y forman parte de la restricción de la función objetivo a maximizar del problema.

Por otro lado, se proporciona también el valor de la inversión inicial y la rentabilidad, datos que se emplearán a la hora de calcular el VAN (Valor Actual Neto de cada proyecto).

### ENUNCIADO DEL PROBLEMA

La empresa ELECTRIC.SA dispone de un presupuesto total de 1.000.000 de euros para llevar a cabo un determinado número de proyectos.

En la actualidad, dispone de un total de 10 proyectos cuyos datos se muestran en las Tablas 1 y 2.

	Flujos de caja anuales				
PROYECTO	1	2	3	4	5
1	650.000 €	700.000 €	500.000 €	800.000 €	
2	400.000 €	450.000 €	350.000 €	300.000 €	
3	750.000 €	700.000 €	750.000 €	750.000 €	
4	850.000 €	850.000 €	900.000 €		
5	500.000 €	550.000 €	500.000 €	450.000 €	400.000 €
6	500.000 €	500.000 €	400.000 €	550.000 €	500.000 €
7	800.000€	850.000 €	750.000 €		
8	400.000 €	300.000 €	350.000 €	300.000 €	400.000 €
9	750.000 €	650.000 €	850.000 €	850.000 €	
10	750.000 €	850.000 €	800.000 €		

*Tabla 9: Flujos de Caja Anuales por Proyecto*



	Costes anuales				
PROYECTO	1	2	3	4	5
1	15.000 €	10.000 €	20.000 €	10.000 €	
2	30.000 €	25.000 €	30.000 €	30.000 €	
3	10.000 €	15.000 €	20.000 €	15.000 €	
4	10.000 €	10.000 €	5.000 €		
5	30.000 €	25.000 €	20.000 €	20.000 €	15.000 €
6	35.000 €	30.000 €	20.000 €	20.000 €	15.000 €
7	10.000 €	10.000 €	15.000 €		
8	35.000 €	25.000 €	25.000 €	20.000 €	30.000 €
9	15.000 €	15.000 €	10.000 €	10.000 €	
10	15.000 €	10.000 €	10.000 €		

Tabla 10: Costes Anuales por Proyecto

La tasa de rentabilidad es del 8% y los escenarios presupuestarios se muestran en la Tabla 3.

	1	2	3	4	5
Escenarios presupuestarios	80.000 €	100.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €

Tabla 11: Escenarios Presupuestarios

Se pide calcular:

-Los proyectos viables económicamente en función del Índice de Rentabilidad del Proyecto.

-Los proyectos que pertenecerán a la cartera de proyectos de ELECTRIC.SA, los cuales se llevarán a cabo, mediante el método de la Mochila Múltiple.

-Los proyectos que pertenecerán a la cartera empleando las *Greedy Heuristics* o “algoritmos voraces”.

-Conclusiones obtenidas

Tarea adicional:

Se valorará que el alumno justifique los resultados obtenidos modificando los datos de partida y analizando la solución.

### 4.3. Estructura del complemento programado mediante VBA

Se ha desarrollado un complemento programado con Excel cuyo objetivo es comparar las carteras obtenidas en cada uno de los métodos citados anteriormente.

Este complemento consta de 6 pestañas. Su estructura se explica a continuación:

En la primera pestaña, denominada “Portada Resumen” (Figura 5), se explica el objetivo de la programación, así como una serie de instrucciones a llevar a cabo para el correcto funcionamiento del programa.

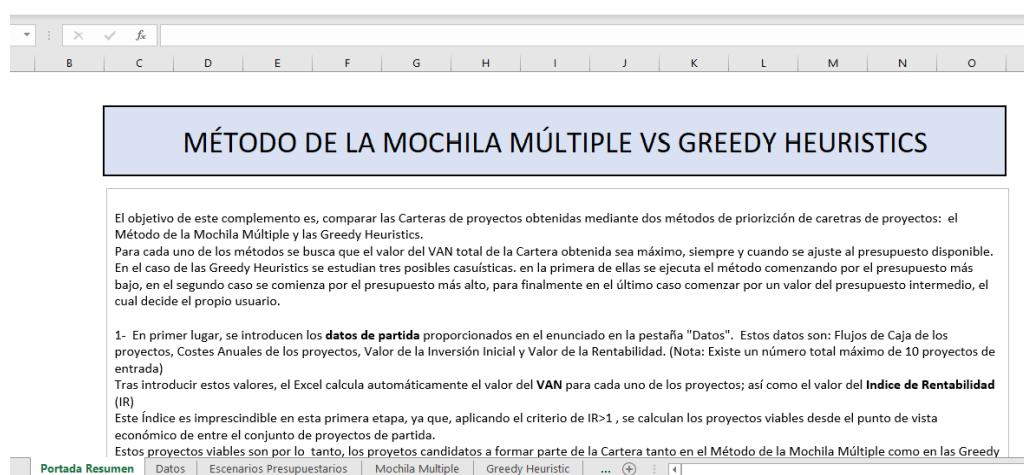


Figura 5: Pestaña Portada-Resumen Complemento VBA

En la segunda pestaña, “Datos” (Figura 6), se introducen aquellos proporcionados por el enunciado. También se obtiene el listado de proyectos viables desde el punto de vista económico, procedimiento explicado más adelante.

Número de proyectos iniciales		10		Rentabilidad		0,08	
				Inversión		1.000.000 €	

Flujos de caja anuales							VAN	IR	Lista posibles proyectos
PROYECTO	1	2	3	4	5				
1	850.000 €	700.000 €	500.000 €	800.000 €			1.186.929 €	1.1869	1
2	400.000 €	490.000 €	350.000 €	300.000 €			254.523 €	0,2345	0
3	750.000 €	700.000 €	750.000 €	750.000 €			1.441.228 €	1,4412	3
4	850.000 €	850.000 €	900.000 €				1.230.224 €	1,2302	4
5	500.000 €	350.000 €	600.000 €	450.000 €	400.000 €		924.412 €	0,9244	0
6	500.000 €	500.000 €	400.000 €	550.000 €	500.000 €		953.725 €	0,9537	0
7	800.000 €	850.000 €	750.000 €				1.064.853 €	1,0649	7
8	400.000 €	300.000 €	350.000 €	300.000 €	400.000 €		398.156 €	0,3982	0
9	750.000 €	450.000 €	850.000 €	850.000 €			1.551.247 €	1,5512	9
10	750.000 €	850.000 €	800.000 €				1.058.248 €	1,0582	10

Costes anuales						TOTAL
PROYECTO	1	2	3	4	5	
1	15.000 €	10.000 €	20.000 €	10.000 €		55.000 €
2	30.000 €	25.000 €	30.000 €	30.000 €		115.000 €
3	10.000 €	15.000 €	20.000 €	15.000 €		60.000 €
4	10.000 €	10.000 €	5.000 €			25.000 €
5	30.000 €	25.000 €	20.000 €	20.000 €	15.000 €	110.000 €
6	35.000 €	30.000 €	25.000 €	20.000 €	15.000 €	125.000 €
7	10.000 €	10.000 €	15.000 €			35.000 €

Figura 6: Pestaña Datos Complemento VBA

En la tercera pestaña “Escenarios Presupuestarios” (Figura 7), se introducen los valores de los escenarios proporcionados en el enunciado u otros posibles que se quieran estudiar.

Número escenarios		5	
-------------------	--	---	--

ESCENARIOS PRESUPUESTARIOS																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
80.000 €	100.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €															

La tercera variante del método Greedy toma como punto de partida un escenario presupuestario intermedio.  
Indicar el número de escenario que se desea para este método:

Greedy Heuristic Intermedio: 3

Validar escenarios presupuestarios

**INSTRUCCIONES**

- Se completa la casilla D3 con el número de escenarios presupuestarios que se van a estudiar. Introducir este valor es fundamental para que la Macro pueda ejecutarse correctamente.
- La fila 7 se completa con los valores de los presupuestos que queremos estudiar.
- En el caso de la tercera variante del método Greedy en la que se parte de un presupuesto intermedio, es necesario indicar en la casilla G12 el punto de partida de este método.

Figura 7: Pestaña Escenarios Presupuestarios Complemento VBA

La cuarta pestaña (Figura 8), es la correspondiente al método de la Mochila Múltiple, donde se obtienen las carteras correspondientes para cada uno de los escenarios propuestos.

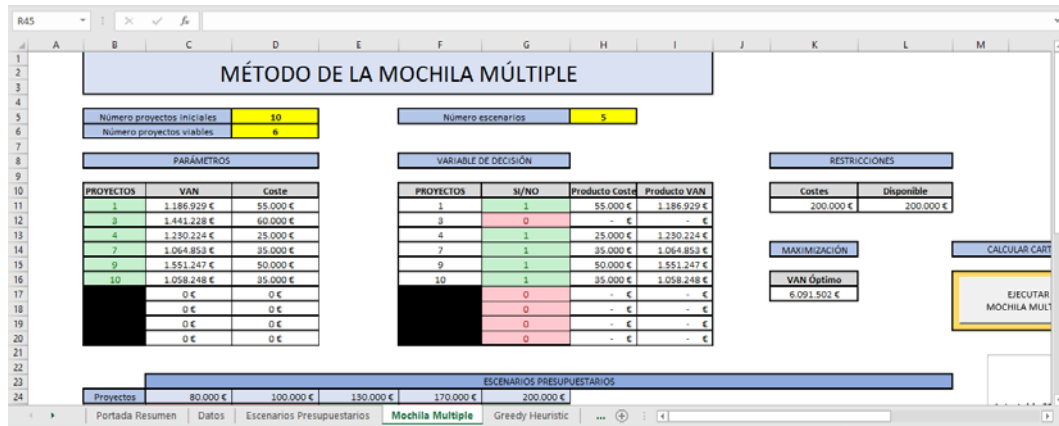


Figura 8: Pestaña método de la Mochila Múltiple Complemento VBA

Del mismo modo, en la quinta pestaña “Greedy Heuristics” (Figura 9), se ejecuta dicho método y se obtienen las carteras de proyectos correspondientes a cada casuística.

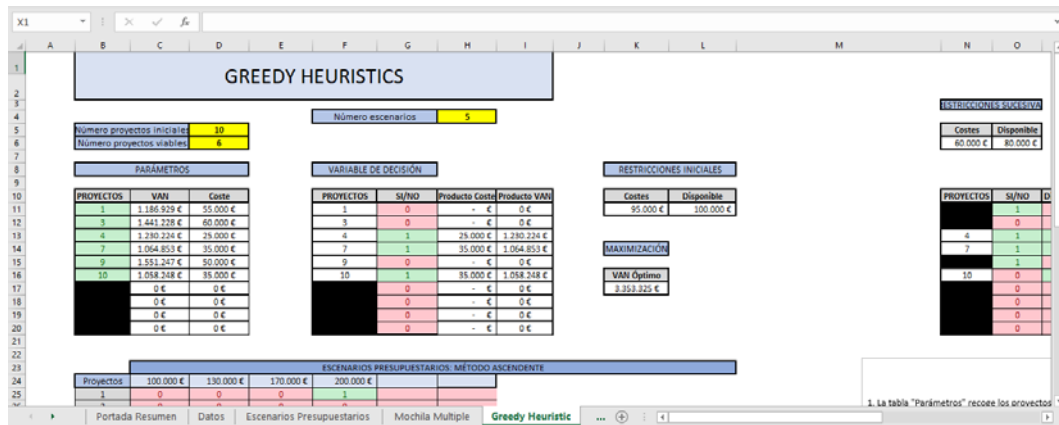


Figura 9: Pestaña Greedy Heuristics Complemento VBA

Por último, la última pestaña denominada “Comparativa” (Figura 10), recoge el resultado de cada método de forma que se pueda realizar una comparativa de una manera más sencilla y visual.

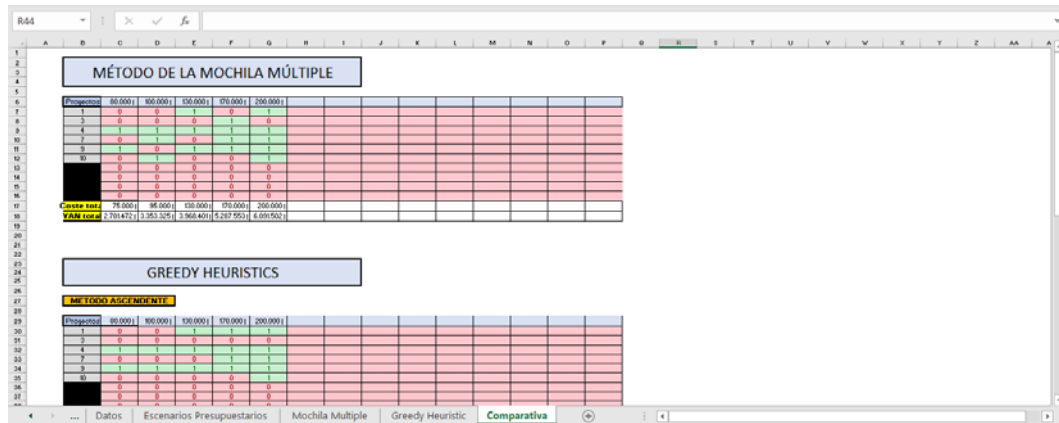


Figura 10: Pestaña Comparativa Complemento VBA

#### 4.4. Pestaña Datos: Viabilidad económica de los proyectos

En primer lugar, se completará la casilla E2 con el número de proyectos de partida del problema (Ver figura 11). En el caso del enunciado propuesto, son 10; el máximo permitido.

Posteriormente se introducen los datos proporcionados por el enunciado para cada uno de los proyectos: flujos de caja, costes anuales, valor de la inversión inicial y rentabilidad.

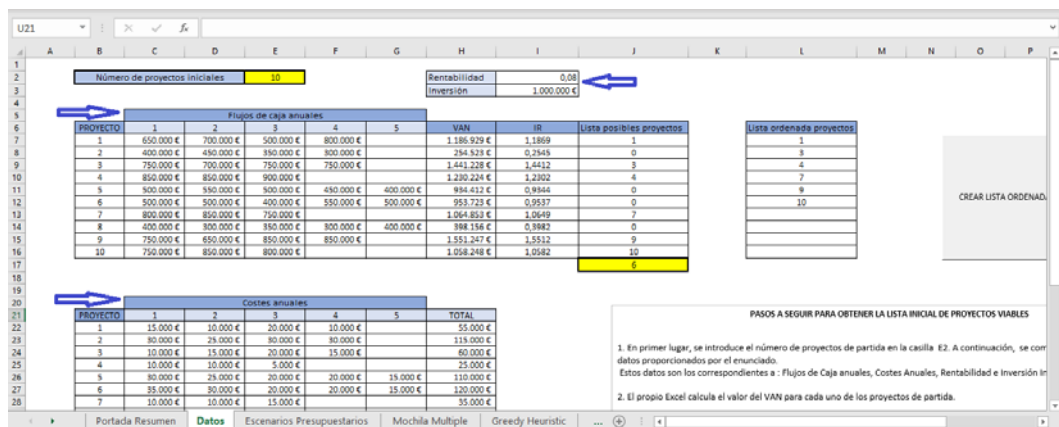


Figura 11: Explicación Pestaña Datos

Una vez, los datos se han introducido se deben calcular los proyectos viables desde el punto de vista económico. La condición para que un proyecto sea considerado viable es tal que su índice de rentabilidad sea superior a la unidad.

Como ya se explicó anteriormente en el Capítulo 3, el índice de rentabilidad o BIR, es un índice que intenta identificar la relación entre los costos y beneficios de un proyecto propuesto. De este modo, un índice de rentabilidad de 1, es la medida más baja aceptable; ya que cualquier valor inferior a 1 supondría un VAN inferior a 0 y por lo tanto el proyecto no sería viable desde el punto de vista económico.

La Figura 12 muestra la fórmula empleada para el cálculo del VAN:

$$VAN = -I + \frac{FC1}{(1+K)} + \frac{FC2}{(1+K)^2} + \frac{FC3}{(1+K)^3} + \dots + \frac{FCN}{(1+K)^N}$$

Figura 12: Fórmula VAN

Donde:

FC es el valor del flujo de caja para cada año

K es el valor de la rentabilidad

I el valor de la inversión inicial

De este modo, se calcula en primer lugar el valor del VAN para cada uno de los proyectos, tal y como se puede ver en la Figura 13:

SUMA											
= -\$I\$3+(C7/(1+\$I\$2))+(D7/(1+\$I\$2)^2)+(E7/(1+\$I\$2)^3)+(F7/(1+\$I\$2)^4)+(G7/(1+\$I\$2)^5)											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	Número de proyectos iniciales						10	Rentabilidad	0,08		
2								Inversión	1.000.000 €		
3											
4											
5											
6	Flujos de caja anuales										
7	PROYECTO	1	2	3	4	5	VAN	IR	Lista posibles proyectos		
8	1	650.000 €	700.000 €	500.000 €	800.000 €		=(I\$2)^5	1,1869	1		
9	2	400.000 €	450.000 €	350.000 €	300.000 €			0,2545	0		
10	3	750.000 €	700.000 €	750.000 €	750.000 €			1,441228	1,4412	3	
11	4	850.000 €	850.000 €	900.000 €				1,230224	1,2302	4	
12	5	500.000 €	550.000 €	500.000 €	450.000 €	400.000 €		0,93412	0,9344	0	
13	6	500.000 €	500.000 €	400.000 €	550.000 €	500.000 €		0,953723	0,9537	0	
14	7	800.000 €	850.000 €	750.000 €				1,064853	1,0649	7	
15	8	400.000 €	300.000 €	350.000 €	300.000 €	400.000 €		0,398156	0,3982	0	
16	9	750.000 €	650.000 €	850.000 €	850.000 €			1,551247	1,5512	9	
17	10	750.000 €	850.000 €	800.000 €				1,058248	1,0582	10	
										6	

Figura 13: Cálculo del VAN

A continuación, se calcula el valor del BIR. Este se obtiene dividiendo para cada proyecto, el valor de su VAN entre la inversión realizada. El cálculo es mostrado en la Figura 14.

SUMA												=H7/\$I\$3	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J				
1											Rentabilidad	0,08	
2	Número de proyectos iniciales										10	Inversión	1.000.000 €
3													
4													
5													
6	Flujos de caja anuales												
7	PROYECTO	1	2	3	4	5	VAN	IR	Lista posibles proyectos				
8	1	650.000 €	700.000 €	500.000 €	800.000 €		1.186.929 €	=H7/\$I\$3	1				
9	2	400.000 €	450.000 €	350.000 €	300.000 €		254.523 €	0,2545	0				
10	3	750.000 €	700.000 €	750.000 €	750.000 €		1.441.228 €	1,4412	3				
11	4	850.000 €	850.000 €	900.000 €			1.230.224 €	1,2302	4				
12	5	500.000 €	550.000 €	500.000 €	450.000 €	400.000 €	934.412 €	0,9344	0				
13	6	500.000 €	500.000 €	400.000 €	550.000 €	500.000 €	953.723 €	0,9537	0				
14	7	800.000 €	850.000 €	750.000 €			1.064.853 €	1,0649	7				
15	8	400.000 €	300.000 €	350.000 €	300.000 €	400.000 €	398.156 €	0,3982	0				
16	9	750.000 €	650.000 €	850.000 €	850.000 €		1.551.247 €	1,5512	9				
17	10	750.000 €	850.000 €	800.000 €			1.058.248 €	1,0582	10				
18										6			

Figura 14: Cálculo Excel del IR

Se observa la importancia de medir la viabilidad mediante el BIR y no simplemente mediante el valor del VAN; ya que, de no haberse realizado de esta forma, los diez proyectos candidatos serían viables desde el punto de vista económico cuando realmente no lo son.

El complemento Excel se encuentra programado para realizar estos cálculos automáticamente, por lo que solo habría que actualizar los resultados obtenidos si introducimos otros datos de partida distintos a los propuestos.

El paso siguiente es obtener la lista de proyectos viables. Se debe pulsar el botón “Crear lista ordenada de proyectos”. Este, ejecutará una Macro (Ver Anexo 1), la cual seleccionará de entre todos los proyectos de partida, aquellos cuyo  $IR > 1$ .

Este nuevo listado de la Figura 15, recogido en la tabla “Lista ordenada de proyectos” son los proyectos candidatos para formar parte de las carteras para los posteriores métodos de priorización.

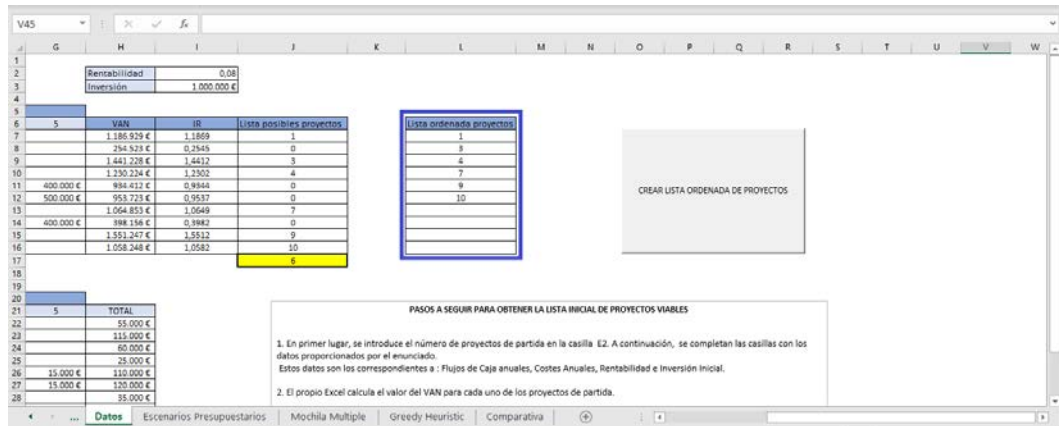


Figura 15: Listado de Proyectos viables

De todos modos, cada pestaña del Excel posee un cuadro de texto con las instrucciones a seguir, como se puede ver en la Figura 16.

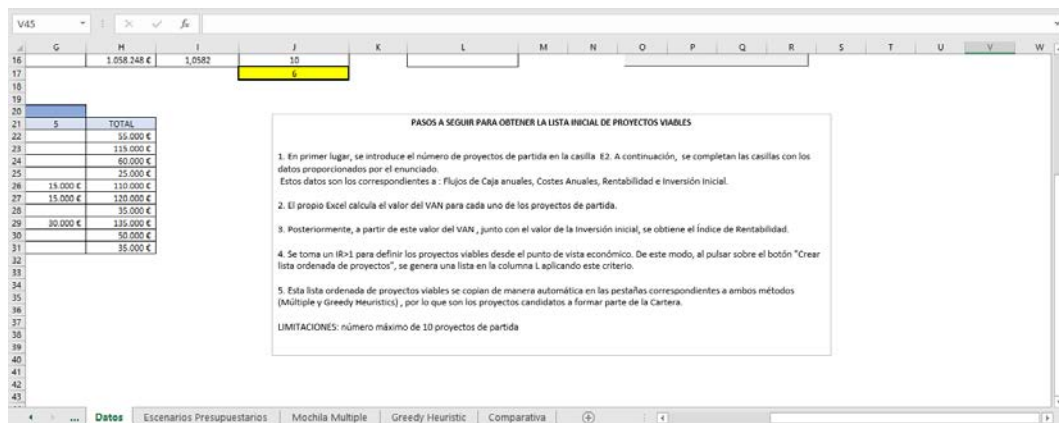


Figura 16: Instrucciones pestaña Datos

#### 4.5. Pestaña Escenarios Presupuestarios

El objetivo de esta pestaña es poder automatizar los escenarios, es decir, introducir manualmente aquí los escenarios, que se copian directamente empleando una Macro (Ver Anexo 2), en las pestañas correspondientes a Mochila Múltiple y Greedy Heuristics.



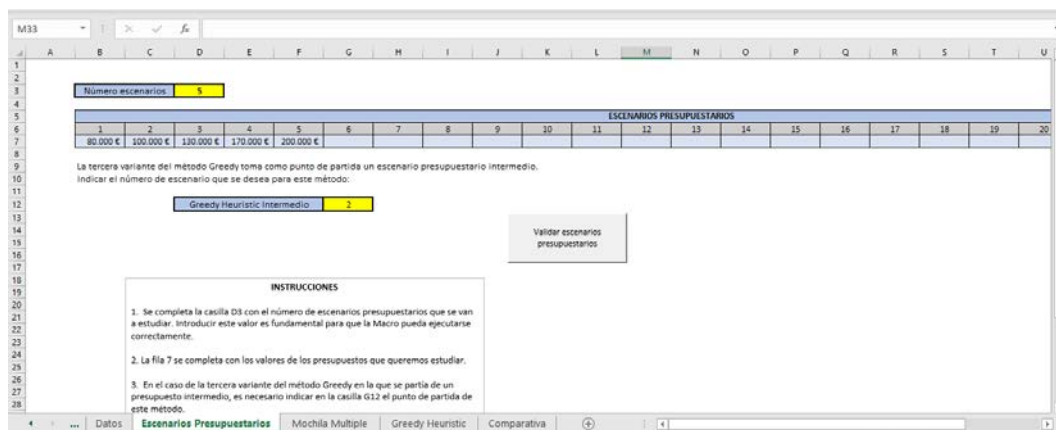


Figura 17: Explicación pestaña Escenarios Presupuestarios

El primer paso es completar la casilla D3, tal y como se muestra en la Figura 17, con el número de escenarios presupuestarios que se van a estudiar posteriormente en los métodos de priorización. En este caso, según el enunciado son 5, pero pueden ser introducidos un número cualquiera de escenarios.

Del mismo modo, se completa la tabla con el valor de estos escenarios y se ejecuta la Macro correspondiente (Ver Anexo 2) pulsando el botón “Validar Escenarios Presupuestarios”. Mediante esta Macro se copia el valor de estos escenarios, así como el número total de ellos, en el resto de las pestañas.

En el caso especial de la tercera casuística de las *Greedy Heuristics*, es necesario introducir en la casilla G12 la posición del escenario que se va a tomar como presupuesto intermedio. Por ejemplo, si ese valor es 2, esto quiere decir, según la tabla, que el valor de ese escenario es de 100.000. Se deberá pulsar el botón de nuevo al introducir este dato para ejecutar la Macro y que copie este valor en las pestañas que correspondan.

Al igual que en el apartado anterior, la pestaña consta de un cuadro de texto con las instrucciones correspondientes.





Por otro lado, la columna “Producto coste” de la Figura 19, multiplica el valor de esta variable binaria (0/1) por el valor del coste total para ese proyecto. Lo mismo ocurre en el caso de la columna “Producto VAN” de la Figura 20.

**MÉTODO DE LA MOCHILA MÚLTIPLE**

Número proyectos iniciales: 10  
Número proyectos viables: 6  
Número escenarios: 5

**PARÁMETROS**

PROYECTOS	VAN	Coste
1	1.186.929 €	55.000 €
3	1.441.228 €	60.000 €
4	1.230.224 €	25.000 €
7	1.064.853 €	35.000 €
9	1.551.247 €	50.000 €
10	1.058.248 €	35.000 €
	0 €	0 €
	0 €	0 €
	0 €	0 €
	0 €	0 €

**VARIABLE DE DECISIÓN**

PROYECTOS	SI/NO	Producto Coste	Producto VAN
1	1	=G11*D11	1.186.929 €
3	0	- €	- €
4	1	25.000 €	1.230.224 €
7	1	35.000 €	1.064.853 €
9	1	50.000 €	1.551.247 €
10	1	35.000 €	1.058.248 €
	0	- €	- €
	0	- €	- €
	0	- €	- €
	0	- €	- €

**ESCENARIOS PRESUPUESTARIOS**

Proyectos	80.000 €	100.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €

Figura 19: Cálculo Excel columna Producto Coste

**MÉTODO DE LA MOCHILA MÚLTIPLE**

Número proyectos iniciales: 10  
Número proyectos viables: 6  
Número escenarios: 5

**PARÁMETROS**

PROYECTOS	VAN	Coste
1	1.186.929 €	55.000 €
3	1.441.228 €	60.000 €
4	1.230.224 €	25.000 €
7	1.064.853 €	35.000 €
9	1.551.247 €	50.000 €
10	1.058.248 €	35.000 €
	0 €	0 €
	0 €	0 €
	0 €	0 €
	0 €	0 €

**VARIABLE DE DECISIÓN**

PROYECTOS	SI/NO	Producto Coste	Producto VAN
1	1	55.000 €	=G11*C11
3	0	- €	- €
4	1	25.000 €	1.230.224 €
7	1	35.000 €	1.064.853 €
9	1	50.000 €	1.551.247 €
10	1	35.000 €	1.058.248 €
	0	- €	- €
	0	- €	- €
	0	- €	- €
	0	- €	- €

**ESCENARIOS PRESUPUESTARIOS**

Proyectos	80.000 €	100.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €

Figura 20: Cálculo Excel Producto VAN

La casilla K11 de la Figura 21, representa el coste total de la cartera, por lo que es igual a la suma de los costes de los proyectos seleccionados:

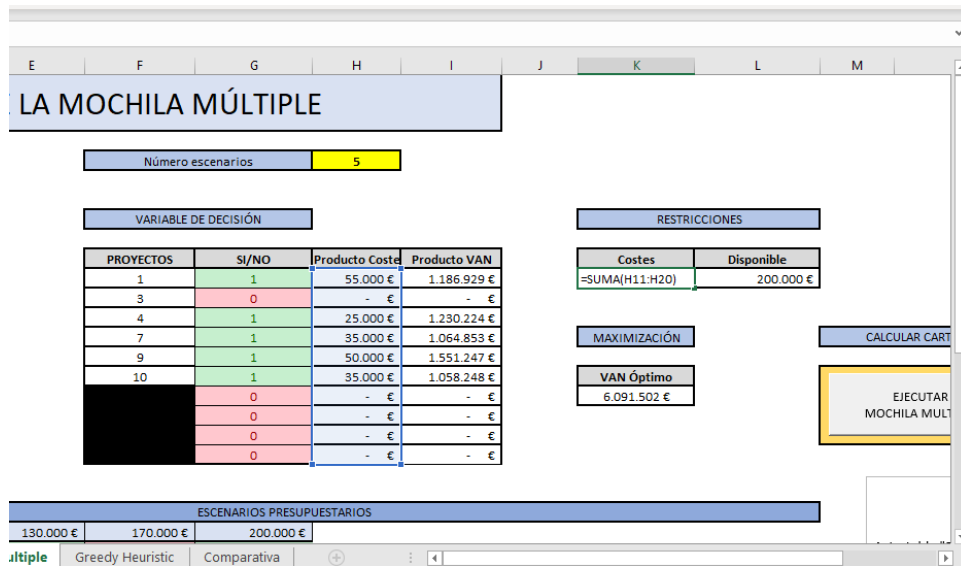


Figura 21: Fórmula Coste total de la Cartera método Mochila Múltiple

El valor de esta casilla (K11) debe ser menor que el presupuesto disponible. Esta restricción se muestra en el Solver de la Figura 22.

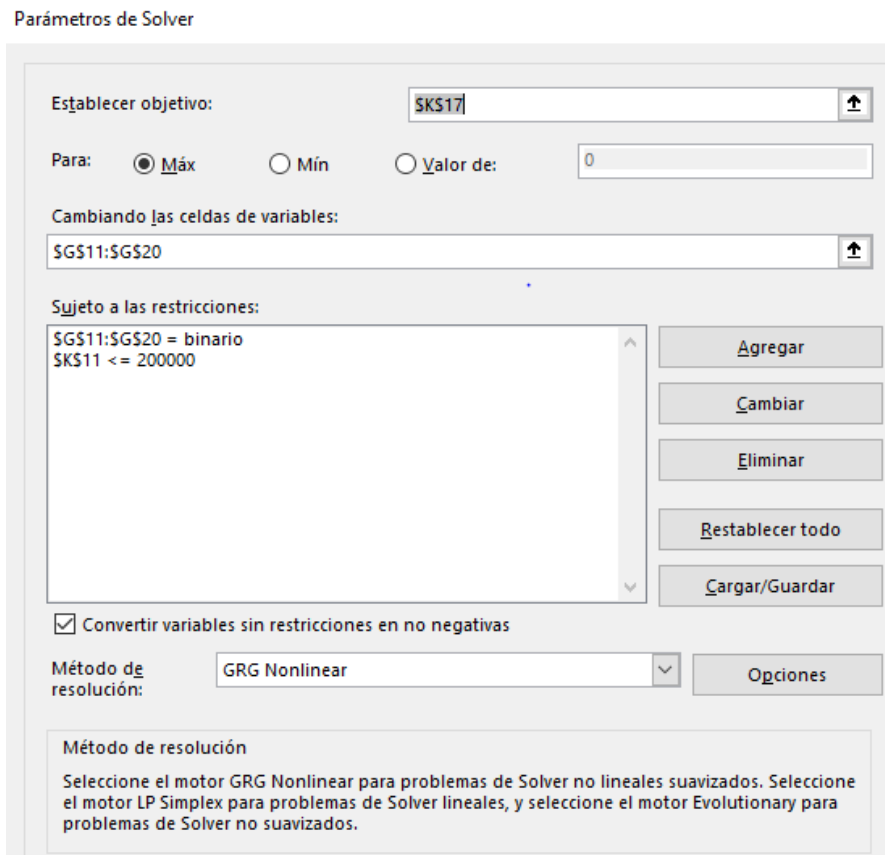


Figura 22: Solver método de la Mochila Múltiple

En este caso, en la Figura 22, se muestra la restricción  $K11 \leq 200.000$  ya que es el último presupuesto que ha tomado la Macro, pero esta restricción irá tomando cada uno de los valores de los presupuestos disponibles (Línea 24 del Excel).

La restricción:  $G11:G20 = \text{binario}$ , como ya se habló anteriormente, quiere decir que esos valores son del tipo binario y tomarán valores 0/1 en función de si el proyecto es seleccionado o no.

El objetivo del método es maximizar el valor del VAN de la cartera (K17) sujeto a la restricción del presupuesto total disponible.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

**PARÁMETROS**

Número proyectos iniciales	10
Número proyectos viables	6

**VARIABLE DE DECISIÓN**

Número escenarios	5
-------------------	---

**PROYECTOS**

PROYECTOS	VAN	Coste
1	1.186.929 €	55.000 €
3	1.441.228 €	60.000 €
4	1.230.224 €	25.000 €
7	1.064.853 €	35.000 €
9	1.551.247 €	50.000 €
10	1.058.248 €	35.000 €
	0 €	0 €
	0 €	0 €
	0 €	0 €
	0 €	0 €

**PROYECTO DE DECISIÓN**

PROYECTOS	SI/NO	Producto Coste	Producto VAN
1	1	55.000 €	1.186.929 €
3	0	- €	- €
4	1	25.000 €	1.230.224 €
7	1	35.000 €	1.064.853 €
9	1	50.000 €	1.551.247 €
10	1	35.000 €	1.058.248 €
	0	- €	- €
	0	- €	- €
	0	- €	- €
	0	- €	- €

**ESCENARIOS PRESUPUESTARIOS**

Proyectos	80.000 €	100.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €
-----------	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Figura 23: Cálculo del VAN de la Cartera método de la Mochila Múltiple

Por otro lado, el número de escenarios junto con sus correspondientes valores se encuentran ya copiados en esta pestaña, tal y como muestra la Figura 24.

PARÁMETROS			VARIABLE DE DECISIÓN			
Número proyectos iniciales	10		Número escenarios	5		
Número proyectos viables	6					
PROYECTOS	VAN	Coste	PROYECTOS	SI/NO	Producto Coste	Producto VAN
1	1.186.929 €	55.000 €	1	1	55.000 €	1.186.929 €
3	1.441.228 €	60.000 €	3	0	- €	- €
4	1.230.224 €	25.000 €	4	1	25.000 €	1.230.224 €
7	1.064.853 €	35.000 €	7	1	35.000 €	1.064.853 €
9	1.551.247 €	50.000 €	9	1	50.000 €	1.551.247 €
10	1.058.248 €	35.000 €	10	1	35.000 €	1.058.248 €
	0 €	0 €		0	- €	- €
	0 €	0 €		0	- €	- €
	0 €	0 €		0	- €	- €
	0 €	0 €		0	- €	- €

ESCENARIOS PRESUPUESTARIOS					
Proyectos	80.000 €	100.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €
1	0	0	1	0	1
3	0	0	0	1	0
4	1	1	1	1	1

Figura 24: Escenarios método de la Mochila Múltiple

Lo único que se debe realizar en esta pestaña es pulsar el botón: “Ejecutar mochila múltiple” como se observa en la Figura 25 y se comienza a ejecutar el método para cada valor presupuestario. (Ver Anexo 3 con la programación del método)

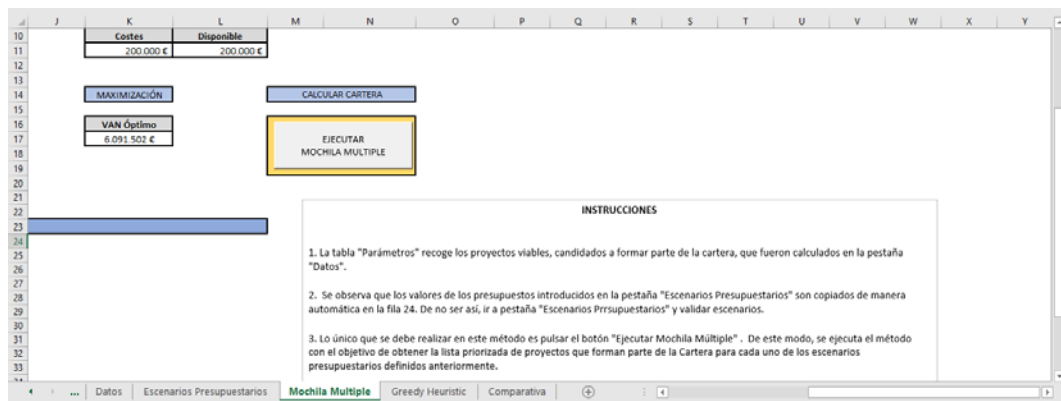


Figura 25: Botón Excel Ejecutar método de la Mochila Múltiple

Finalmente, como muestra la Figura 26, la tabla resumen, muestra para cada presupuesto, los proyectos que formarían parte de la cartera, (indicados con un 1).

Proyectos	80.000 €	100.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €
1	0	0	1	0	1
3	0	0	0	1	0
4	1	1	1	1	1
7	0	1	0	1	1
9	1	0	1	1	1
10	0	1	0	0	1
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
Coste total	75.000 €	95.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €
VAN total	2.783.472 €	3.353.325 €	3.968.401 €	5.287.553 €	6.091.502 €

Figura 26: Cartera de Proyectos método de la Mochila

En las filas 35 y 36 se calcula también el valor del coste total y del VAN de la cartera resultante para cada uno de los escenarios.

Al finalizar la última iteración, la Macro copia esta tabla resumen en la pestaña “Comparativa”, para en el momento que se haya ejecutado el siguiente método de priorización, se puedan comparar ambos de manera más sencilla.

Esta pestaña también posee unas instrucciones que sirven de ayuda al usuario.

### 5.3. Resultados del método

Mediante este método, se observa en la Figura 26, que para el presupuesto más bajo, la cartera se encontraría formada por los proyectos: {4,9}. Sería lógico que, si este presupuesto aumentara, los proyectos 4 y 9 siguieran llevándose a cabo y se incorporaran otros a mayores siempre y cuando se cumpliera la restricción presupuestaria, pero esto no es así.

Por ejemplo, la cartera con un presupuesto de 100.000 euros es la siguiente: {4,7,10}. El proyecto 4 pertenece a la cartera, al igual que en el presupuesto anterior, pero esto no sucede para el proyecto 9.

Se observa que esta problemática se repite para el resto de los escenarios lo cual no nos ofrece una solución demasiado robusta, pues plantea dificultades en la toma de decisiones por parte de los directivos.

De este modo, se comprueba que las conclusiones obtenidas por Ali Koç et al. en su artículo *Prioritizing Project Selection*, son ciertas.



En el siguiente capítulo, se aplicará las *Greedy Heuristics* como método de resolución con el fin de obtener una solución en la que exista dependencia entre los escenarios presupuestarios.



## 6. CASO PRÁCTICO: PARTE 3

### 6.1. Introducción

El contenido de este capítulo es el siguiente:

En primer lugar, se explica, para cada una de las casuísticas de este método, el procedimiento llevado a cabo para obtener las distintas carteras de proyectos, para, a continuación, analizar los distintos resultados obtenidos.

Se comienza por el modelo que parte del presupuesto menor, en segundo lugar, el del presupuesto mayor, y por último el caso en el que se parte de un presupuesto intermedio definido por el usuario.

Se debe ir a los Anexos para consultar las Macros programadas para cada uno de estos casos.

### 6.2. Caso ascendente

#### 6.2.1. Programación

Al igual que en el método de la Mochila Múltiple, el número de escenarios presupuestarios, así como su valor, se encuentran copiados en la pestaña correspondiente a este método. También los proyectos candidatos a formar parte de la cartera.

La tabla “Variable de decisión” y la de “Restricciones iniciales” son las mismas que para el método de la Mochila Múltiple, como se observa en la Figura 27.

The screenshot shows an Excel spreadsheet titled "GREEDY HEURISTICS". It contains several tables and input fields:

- Input Fields:** "Número proyectos iniciales" (10), "Número proyectos viables" (6), "Número escenarios" (5).
- PARAMETROS:** A table with columns "PROYECTOS", "VAN", and "Coste".
- VARIABLE DE DECISIÓN:** A table with columns "PROYECTOS", "SI/NO", "Producto Coste", and "Producto VAN".
- RESTRICCIONES INICIALES:** A table with columns "Costes" and "Disponible".
- RESTRICCIONES SUCESIVAS:** A table with columns "Costes" and "Disponible".
- MAXIMIZACIÓN:** A table with columns "PROYECTOS", "SI/NO", and "D".
- VAN Óptimo:** A cell containing the value 6.091.502 €.
- ESCUENARIOS PRESUPUESTARIOS: MÉTODO ASCENDENTE:** A table with columns "Proyectos" and values for budgets: 80.000 €, 100.000 €, 130.000 €, 170.000 €, 200.000 €.

Figura 27: Pestaña Excel Greedy heuristics



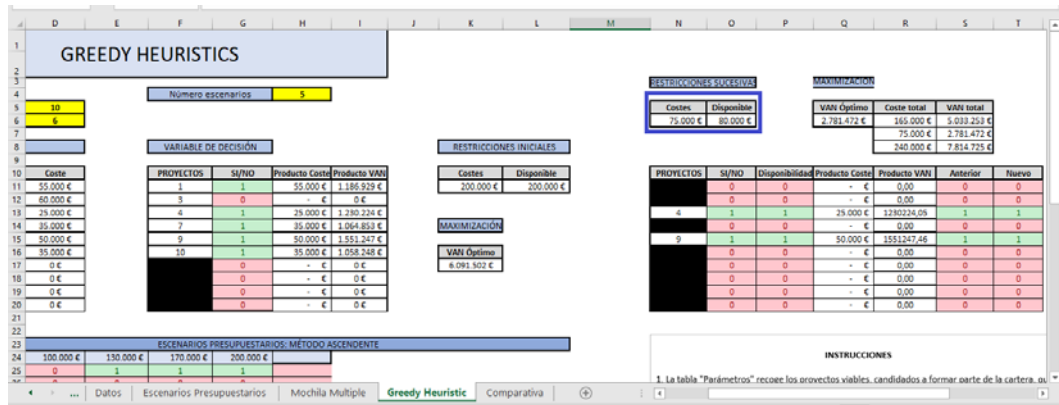


Figura 29: Restricciones sucesivas Greedy Heuristics

Los pasos que se llevan a cabo en la Macro (Ver Anexo 4) correspondiente a esta casuística para obtener las distintas carteras son los siguientes:

En la columna S, “Anterior” (Ver figura 30) se copia la cartera generada en la iteración actual y a continuación en la columna N, “Proyectos” se actualizan aquellos que se encuentran disponibles, es decir, los que pueden ser seleccionados en la etapa siguiente ya que no fueron seleccionados con anterioridad.

En la columna P, “Disponibilidad”, estos proyectos disponibles se definen con un 1, mientras que los no disponibles muestran un 0.

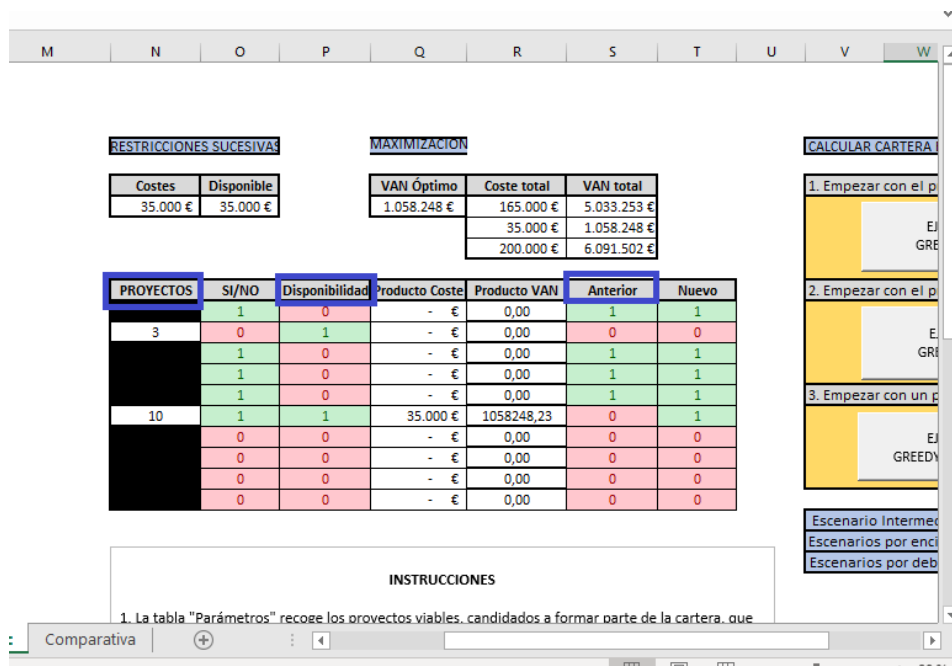


Figura 30: Explicación Tabla Greedy Heuristics

Por ejemplo, se estudia la última iteración tomando un presupuesto de 200.000 euros:

Proyectos	ESCENARIOS PRESUPUESTARIOS: MÉTODO ASCENDENTE				
	80.000 €	100.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €
1	0	0	1	1	1
3	0	0	0	0	0
4	1	1	1	1	1
7	0	0	0	1	1
9	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
<b>Coste total</b>	75.000 €	75.000 €	130.000 €	165.000 €	200.000 €
<b>VAN total</b>	2.781.472 €	2.781.472 €	3.968.401 €	5.033.253 €	6.091.502 €
<b>Dif. Presup</b>	25.000 €	55.000 €	40.000 €	35.000 €	

Figura 31: Comparativa Carteras de Proyectos

En este caso, los proyectos disponibles serían únicamente el 3 y el 10 (Ver figura 31), ya que son los únicos que no han sido seleccionados con anterioridad en ninguna de las carteras. Por lo tanto, estos dos proyectos muestran un 1 en la columna Disponibilidad.

PROYECTOS	SI/NO	Disponibilidad	Producto Coste	Producto VAN	Anterior	Nuevo
	1	0	- €	0,00	1	1
3	0	1	- €	0,00	0	0
	1	0	- €	0,00	1	1
	1	0	- €	0,00	1	1
	1	0	- €	0,00	1	1
10	1	1	35.000 €	1058248,23	0	1
	0	0	- €	0,00	0	0
	0	0	- €	0,00	0	0
	0	0	- €	0,00	0	0
	0	0	- €	0,00	0	0

Figura 32: Columna Disponibilidad

La columna SI/NO de la Figura 32, indica los proyectos que cumplen la restricción presupuestaria y pueden ser añadidos a la cartera, pero, si estos no se encuentran disponibles, no pueden, por tanto, ser seleccionados.

Así, si en la columna SI/NO existe un 1, y a su vez el proyecto está disponible, ese proyecto es incorporado a la cartera y por lo tanto se puede calcular el valor de su coste y VAN como indican las Figuras 33 y 34.

**EURISTICS**

Número escenarios: 5

VARIABLE DE DECISIÓN

PROYECTOS	SI/NO	Producto Coste	Producto VAN
1	0	- €	0 €
3	0	- €	0 €
4	1	25.000 €	1.230.224 €
7	0	- €	0 €
9	1	50.000 €	1.551.247 €
10	0	- €	0 €
17	0	- €	0 €
18	0	- €	0 €
19	0	- €	0 €
20	0	- €	0 €

RESTRICCIONES INICIALES

Costes	Disponible
75.000 €	80.000 €

MAXIMIZACIÓN

Costes	Disponible
35.000 €	35.000 €

VAN Óptimo: 2.781.472 €

RESTRICCIONES SUCESIVAS

Costes	Disponible
35.000 €	35.000 €

MAXIMIZACIÓN

VAN Óptimo	Coste total	VAN total
1.058.248 €	165.000 €	5.033.253 €
	35.000 €	1.058.248 €
	200.000 €	6.091.502 €

PROYECTOS	SI/NO	Disponibilidad	Producto Coste	Producto VAN	Anterior	Nuevo
1	1	0	- €	0,00	1	1
3	0	1	- €	0,00	0	0
4	1	0	- €	0,00	1	1
7	1	0	- €	0,00	1	1
9	1	0	- €	0,00	1	1
10	1	1	35.000 €	1058248,23	0	1
17	0	0	- €	0,00	0	0
18	0	0	- €	0,00	0	0
19	0	0	- €	0,00	0	0
20	0	0	- €	0,00	0	0

ESCUENARIOS PRESUPUESTARIOS: MÉTODO ASCENDENTE

170.000 €	200.000 €
1	1

INSTRUCCIONES

1. La tabla "Parámetros" recoge los proyectos viables, candidatos a formar parte de la cartera, que...

Figura 33: Cálculo Excel Producto coste Greedy Heuristics

**EURISTICS**

Número escenarios: 5

VARIABLE DE DECISIÓN

PROYECTOS	SI/NO	Producto Coste	Producto VAN
1	0	- €	0 €
3	0	- €	0 €
4	1	25.000 €	1.230.224 €
7	0	- €	0 €
9	1	50.000 €	1.551.247 €
10	0	- €	0 €
17	0	- €	0 €
18	0	- €	0 €
19	0	- €	0 €
20	0	- €	0 €

RESTRICCIONES INICIALES

Costes	Disponible
75.000 €	80.000 €

MAXIMIZACIÓN

Costes	Disponible
35.000 €	35.000 €

VAN Óptimo: 2.781.472 €

RESTRICCIONES SUCESIVAS

Costes	Disponible
35.000 €	35.000 €

MAXIMIZACIÓN

VAN Óptimo	Coste total	VAN total
1.058.248 €	165.000 €	5.033.253 €
	35.000 €	1.058.248 €
	200.000 €	6.091.502 €

PROYECTOS	SI/NO	Disponibilidad	Producto Coste	Producto VAN	Anterior	Nuevo
1	1	0	- €	=C11*O11*P11	1	1
3	0	1	- €	0,00	0	0
4	1	0	- €	0,00	1	1
7	1	0	- €	0,00	1	1
9	1	0	- €	0,00	1	1
10	1	1	35.000 €	1058248,23	0	1
17	0	0	- €	0,00	0	0
18	0	0	- €	0,00	0	0
19	0	0	- €	0,00	0	0
20	0	0	- €	0,00	0	0

ESCUENARIOS PRESUPUESTARIOS: MÉTODO ASCENDENTE

170.000 €	200.000 €
1	1

INSTRUCCIONES

1. La tabla "Parámetros" recoge los proyectos viables, candidatos a formar parte de la cartera, que...

Figura 34: Cálculo Excel columna Producto Van Greedy Heuristics

Continuando con este ejemplo, tal y como se observa en las imágenes 35 y 36, el proyecto 3 no cumple con la restricción; ya que el presupuesto disponible para esa cartera es de 35.000 y el coste del proyecto es igual a 60.000. Por lo tanto, finalmente el proyecto 10 es incorporado a la cartera al tener un coste igual al presupuesto disponible.





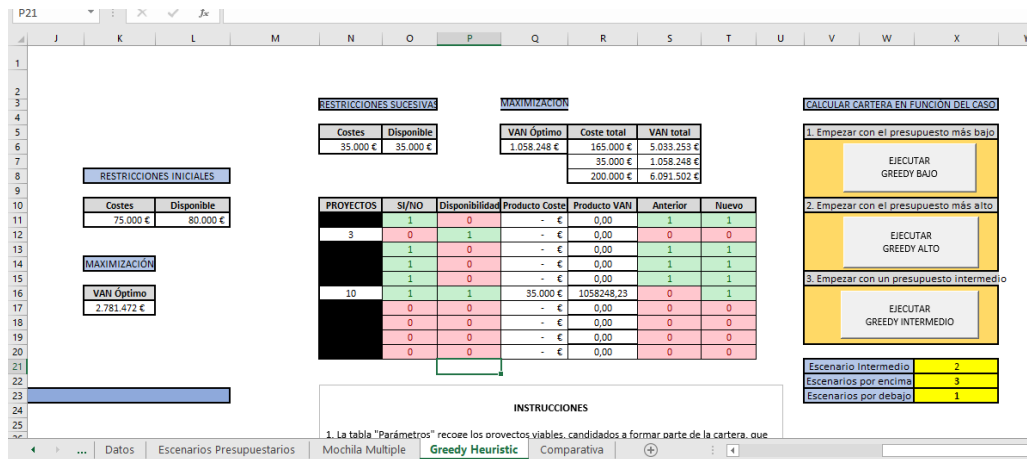


Figura 37: Tabla Maximización Greedy Heuristics

El Solver empleado para resolver este método es la siguiente:

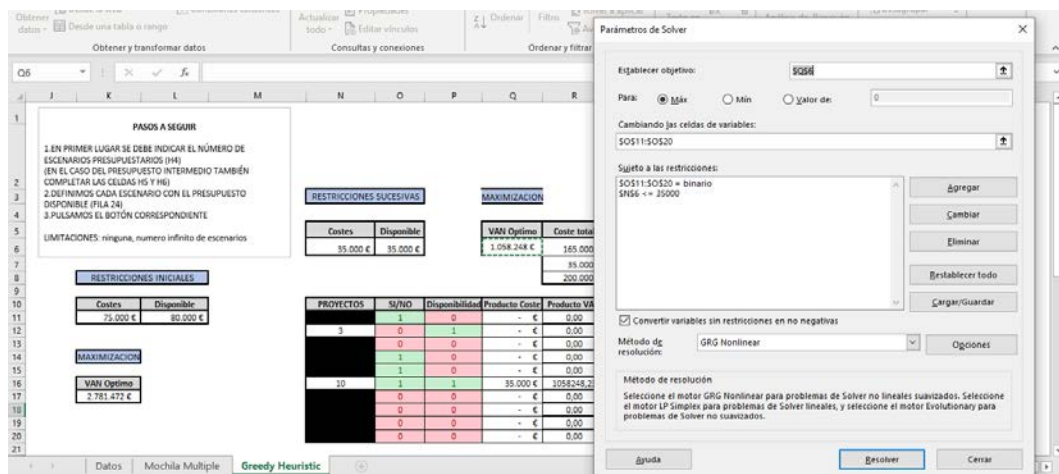


Figura 38: Solver Greedy Heuristics caso ascendente

La restricción de la Figura 38:  $N6 \leq 35000$  indica que, para cada iteración, la suma de los costes de los proyectos candidatos a formar parte de la nueva cartera deben ser menores que el valor del presupuesto disponible en ese instante.

## 6.2.2. Resultados obtenidos

A continuación, se analizan los resultados obtenidos mediante esta casuística.

Al pulsar el botón correspondiente: "Ejecutar Greedy bajo", se obtienen las siguientes carteras de proyectos para cada uno de los presupuestos dados:

ESCENARIOS PRESUPUESTARIOS: MÉTODO ASCENDENTE						
Proyectos	80.000 €	100.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €	
1	0	0	1	1	1	
3	0	0	0	0	0	
4	1	1	1	1	1	
7	0	0	0	1	1	
9	1	1	1	1	1	
10	0	0	0	0	1	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
<b>Coste total</b>	75.000 €	75.000 €	130.000 €	165.000 €	200.000 €	
<b>VAN total</b>	2.781.472 €	2.781.472 €	3.968.401 €	5.033.253 €	6.091.502 €	
<b>Dif. Presup</b>	25.000 €	55.000 €	40.000 €	35.000 €		

Figura 39: Carteras de Proyectos Greedy Heuristics caso ascendente

Se observa en la Figura 39 que, para un presupuesto de 80.000 euros la cartera se encuentra formada por los proyectos 4 y 9. Esta cartera se mantiene para el presupuesto de 100.000 euros, no incorporándose ningún otro proyecto a la cartera.

Para un presupuesto de 130.000 se puede ver que el proyecto 1 es incorporado a la nueva cartera. Lo mismo sucede para un presupuesto de 170.000 donde se incorpora el proyecto 7. Finalmente, con el mayor presupuesto disponible se observa que todos los proyectos son finalmente incorporados a esta, excepto el proyecto 3.

En el siguiente caso, se analizará si este proyecto es seleccionado en alguna ocasión o, por el contrario, nunca puede formar parte de la cartera para ninguno de los presupuestos, debido a sus elevados costes.

## 6.3. Caso descendente

### 6.3.1. Programación

En el caso anterior para un presupuesto  $x$  la cartera estaba formada por  $n$  proyectos; si el presupuesto aumentaba a  $x+1$ , la programación forzaba a que la nueva cartera estuviera formada, como mínimo, por los proyectos de la cartera anterior; de manera que la diferencia entre el presupuesto  $x+1$  y el

coste de la cartera  $x$  era el presupuesto del que se dispondría a la hora de añadir nuevos proyectos a la nueva cartera.

En este caso sucede al contrario. Al ejecutar la Macro correspondiente a este modelo (Ver Anexo 4), se parte del presupuesto mayor, de manera que este se va decrementando. Si para el presupuesto  $x$  la cartera está formada por  $n$  proyectos, si el presupuesto pasa a ser  $x-1$ , ahora la condición cambia. Únicamente podrán ser seleccionados aquellos proyectos que formaban parte de la cartera anterior, siempre y cuando estos cumplan con las restricciones de presupuesto.

Por ejemplo, en la Figura 40, para un escenario de 170.000 la cartera se encuentra formada por los proyectos {1,4,7,9}. El presupuesto disminuye a 130.000, por lo que su cartera está formada por aquellos proyectos de la cartera anterior que cumplen con la restricción presupuestaria. En este caso, el proyecto 7 queda fuera de la cartera.

ESCENARIOS PRESUPUESTARIOS: MÉTODO DESCENDENTE										
Proyectos	200.000 €	170.000 €	130.000 €	100.000 €	80.000 €					
1	1	1	1	0	0					
3	0	0	0	0	0					
4	1	1	1	1	1					
7	1	1	0	0	0					
9	1	1	1	1	1					
10	1	0	0	0	0					
	0	0	0	0	0					
	0	0	0	0	0					
	0	0	0	0	0					
	0	0	0	0	0					
	0	0	0	0	0					
<b>Coste total</b>	200.000 €	165.000 €	130.000 €	75.000 €	75.000 €					
<b>VAN total</b>	6.091.502 €	5.033.253 €	3.968.401 €	2.781.472 €	2.781.472 €					

Figura 40: Carteras de Proyectos Greedy Heuristics caso descendente

### 6.3.2. Resultados obtenidos

Tal y como muestra la Figura 40, se obtienen las mismas carteras de proyectos para cada uno de los presupuestos dados, que en el método ascendente, pero esto es un hecho casual. Al igual que en el caso anterior, el proyecto 3 no es seleccionado en ninguno de los escenarios.

Aplicamos el método del presupuesto intermedio para observar el resultado obtenido.

## 6.4. Caso presupuesto intermedio

### 6.4.1. Programación

En este caso, lo más importante es definir el presupuesto intermedio para poder ejecutar la Macro correspondiente, tal y como se indicó en el capítulo 4, en el apartado 4.5.

La Macro correspondiente a esta casuística (Ver Anexo 4) es una combinación de las dos anteriores (ascendente y descendente) por lo que los escenarios situados por encima de ese presupuesto intermedio se ejecutan mediante el método ascendente, y los situados por debajo mediante el descendente.

El número de escenarios situados por encima y por debajo del presupuesto intermedio lo recoge la tabla que muestra la Figura 41.

The screenshot shows a spreadsheet interface with the following data tables:

Contres	Disponible	VAN Optimo	Coste total	VAN total
60.000 €	80.000 €	2.295.077 €	149.000 €	4.904.573 €
			60.000 €	2.295.077 €
			205.000 €	7.199.650 €

PROYECTOS	SI/NO	Disponibilidad	Producto Coste	Producto VAN	Anterior	Nuevo
	1	0	- €	0,00	0	0
	0	0	- €	0,00	0	0
4	1	1	25.000 €	1230234,05	1	1
7	1	1	25.000 €	106482,92	1	1
	1	0	- €	0,00	0	0
10	0	1	- €	0,00	1	0
	0	0	- €	0,00	0	0
	0	0	- €	0,00	0	0
	0	0	- €	0,00	0	0
	0	0	- €	0,00	0	0
	0	0	- €	0,00	0	0

INSTRUCCIONES	
1.	La tabla "Parámetros" recoge los proyectos viables, candidatos a formar parte de la cartera, que fueron calculados en la pestaña "Datos".
2.	Se observa que los valores de los presupuestos introducidos en la pestaña "Escenarios Presupuestarios" son copiados de manera automática en ambas tablas. De no ser así, ir a pestaña "Escenarios".

Escenario Intermedio	1
Escenarios por encima	9
Escenarios por debajo	1

The spreadsheet also includes a 'Instrucciones' section and a summary table for scenarios. The summary table shows 1 intermediate scenario, 9 scenarios above, and 1 scenario below the intermediate budget.

Figura 41: Escenarios Presupuesto Intermedio

## 6.4.2. Resultados obtenidos

Mediante la ejecución del método, se obtiene la siguiente solución:

ESCENARIOS PRESUPUESTARIOS: MÉTODO ASCENDENTE					
Proyectos	100.000€	130.000€	170.000€	200.000€	
1	0	0	0	1	
3	0	0	0	0	
4	1	1	1	1	
7	1	1	1	1	
9	0	0	1	1	
10	1	1	1	1	
	0	0	0	0	
	0	0	0	0	
	0	0	0	0	
	0	0	0	0	
<b>Coste total</b>	95.000€	95.000€	145.000€	200.000€	
<b>VAN total</b>	3.353.325€	3.353.325€	4.904.573€	6.091.502€	
<b>Dif. Presup.</b>	35.000€	75.000€	55.000€		

ESCENARIOS PRESUPUESTARIOS: MÉTODO DESCENDENTE					
Proyectos	100.000€	80.000€			
1	0	0			
3	0	0			
4	1	1			
7	1	1			
9	0	0			
10	1	0			
	0	0			
	0	0			
	0	0			
	0	0			
<b>Coste total</b>	95.000€	80.000€			
<b>VAN total</b>	3.353.325€	2.295.077€			

Figura 42: Cartera de proyectos obtenida caso presupuesto intermedio

Se observa en la Figura 42 que el resultado proporcionado mediante este método es distinto al obtenido en los otros dos casos. Se compara por ejemplo la cartera obtenida en el caso descendente con la obtenida en este apartado:

METODO DESCENDENTE						
Proyectos	80.000 €	100.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €	
1	0	0	1	1	1	
3	0	0	0	0	0	
4	1	1	1	1	1	
7	0	0	0	1	1	
9	1	1	1	1	1	
10	0	0	0	0	1	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
<b>Coste total</b>	75.000 €	75.000 €	130.000 €	165.000 €	200.000 €	
<b>VAN total</b>	2.781.472 €	2.781.472 €	3.968.401 €	5.033.253 €	6.091.502 €	

Figura 43: Comparativa caso descendente

METODO INTERMEDIO						
Proyectos	80.000 €	100.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €	
1	0	0	0	0	1	
3	0	0	0	0	0	
4	1	1	1	1	1	
7	1	1	1	1	1	
9	0	0	0	1	1	
10	0	1	1	1	1	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
<b>Coste total</b>	60.000 €	95.000 €	95.000 €	145.000 €	200.000 €	
<b>VAN total</b>	2.295.077 €	3.353.325 €	3.353.325 €	4.904.573 €	6.091.502 €	
<b>Dif. Presup</b>		35.000 €	75.000 €	55.000 €		

Figura 44: Comparativa Presupuesto Intermedio

Se puede ver en las Figuras 43 y 44, que la cartera formada para el presupuesto de 200.000 euros, es la misma en ambos casos. Sin embargo, para el resto de los escenarios, las carteras difieren; incluso para el caso del presupuesto menor. Estas diferencias provocan lógicamente un valor del VAN distinto.

Es interesante analizar que, mediante el método del presupuesto intermedio, seleccionando en este caso un presupuesto de 100.000, se obtiene para los presupuestos situados por encima de este, un valor del VAN superior que el obtenido en el método de la Mochila (Excepto para el presupuesto máximo, que es el mismo). Sin embargo, para el presupuesto situado por debajo de este presupuesto intermedio, el valor del VAN de la cartera es mejor que en el caso ascendente.

Se plantea por lo tanto, otro presupuesto intermedio para comprobar si este resultado es casual o no.

Se toma un presupuesto de 130.000 como intermedio. Tal y como se explicó anteriormente este valor de debe indicar en la pestaña “Escenarios Presupuestarios”. Se validan los escenarios y se ejecuta el caso del presupuesto intermedio.

Se obtienen las siguientes carteras:

METODO INTERMEDIO						
Proyectos	80.000 €	100.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €	
1	0	0	0	0	1	
3	0	0	0	0	0	
4	1	1	1	1	1	
7	1	1	1	1	1	
9	0	0	0	1	1	
10	0	1	1	1	1	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
<b>Coste total</b>	60.000 €	95.000 €	95.000 €	145.000 €	200.000 €	
<b>VAN total</b>	2.295.077 €	3.353.325 €	3.353.325 €	4.904.573 €	6.091.502 €	
<b>Dif. Presup</b>		35.000 €	75.000 €	55.000 €		

Figura 45: Comparativa 2 Presupuesto Intermedio

Se concluye por tanto, al observar los resultados de la Figura 45, que lo sucedido en el caso anterior era un hecho casual, y no se observa una clara ventaja de un método frente al otro, en relación con el VAN y los costes.

Ahora se realiza una comparación entre las carteras obtenidas mediante el método de la Mochila Múltiple y las obtenidas aplicando las *Greedy Heuristics*.

## 6.5. Comparativa Método de la Mochila VS Greedy Heuristics

El objetivo de este apartado es comparar los resultados obtenidos por ambos métodos y obtener distintas conclusiones.

Se compara en primer lugar el método de la Mochila Múltiple y el caso del presupuesto ascendente de las *Greedy Heuristics*. Los resultados obtenidos son respectivamente:

Proyectos	80.000 €	100.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €	
1	0	0	1	0	1	
3	0	0	0	1	0	
4	1	1	1	1	1	
7	0	1	0	1	1	
9	1	0	1	1	1	
10	0	1	0	0	1	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
<b>Coste total</b>	75.000 €	95.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €	
<b>VAN total</b>	2.781.472 €	3.353.325 €	3.968.401 €	5.287.553 €	6.091.502 €	

Figura 46: Cartera Mochila Múltiple

Proyectos	80.000 €	100.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €	
1	0	0	1	1	1	
3	0	0	0	0	0	
4	1	1	1	1	1	
7	0	0	0	1	1	
9	1	1	1	1	1	
10	0	0	0	0	1	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
<b>Coste total</b>	75.000 €	75.000 €	130.000 €	165.000 €	200.000 €	
<b>VAN total</b>	2.781.472 €	2.781.472 €	3.968.401 €	5.033.253 €	6.091.502 €	
<b>Dif. Presup</b>	25.000 €	55.000 €	40.000 €	35.000 €	30.000 €	

Figura 47: Cartera Greedy Heuristics Método Ascendente

En las Figuras 46 y 47 se puede ver, que las carteras obtenidas para los escenarios de 80.000, 130.000 y 200.000 son las mismas, por lo que el valor del VAN total también lo es.

Se observa claramente como en los casos en los que las carteras obtenidas son distintas, el método que emplea las *Greedy Heuristics* como método de resolución ofrece un resultado cuyo VAN es inferior al obtenido en el Método de la Mochila. Esto, es algo lógico ya que, el método de la Mochila busca el óptimo en cada etapa sin importar aquello que fue seleccionado en la etapa anterior, lo que en las *Greedy Heuristic* hace que ciertos proyectos a pesar de tener un valor del VAN alto no puedan ser seleccionados. Sin embargo, la diferencia de costes no es demasiado relevante, al diferir únicamente en 15.000 euros.

Ahora se compara el resultado obtenido aplicando la Mochila Múltiple con el caso del presupuesto intermedio (100.000) de las *Greedy Heuristics*:



Proyectos	80.000 €	100.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €	
1	0	0	1	0	1	
3	0	0	0	1	0	
4	1	1	1	1	1	
7	0	1	0	1	1	
9	1	0	1	1	1	
10	0	1	0	0	1	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
<b>Coste total</b>	75.000 €	95.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €	
<b>VAN total</b>	2.781.472 €	3.353.325 €	3.968.401 €	5.287.553 €	6.091.502 €	

Figura 48: Cartera Mochila Múltiple

Proyectos	80.000 €	100.000 €	130.000 €	170.000 €	200.000 €	
1	0	0	0	0	1	
3	0	0	0	0	0	
4	1	1	1	1	1	
7	1	1	1	1	1	
9	0	0	0	1	1	
10	0	1	1	1	1	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
<b>Coste total</b>	60.000 €	95.000 €	95.000 €	145.000 €	200.000 €	
<b>VAN total</b>	2.295.077 €	3.353.325 €	3.353.325 €	4.904.573 €	6.091.502 €	
<b>Dif. Presup</b>		35.000 €	75.000 €	55.000 €		

Figura 49: Cartera Greedy Heuristics Presupuesto Intermedio

En este caso, las carteras obtenidas son las mismas para los escenarios: 100.000 y 200.000, tal y como se observa en las Figuras 48 y 49.

En el resto de los escenarios las carteras obtenidas difieren. Del mismo modo, el VAN es mayor en las carteras obtenidas en el método de la Mochila Múltiple. Mientras que en el caso anterior, la diferencia en cuanto al coste de las carteras obtenidas no era demasiado significativo, en este caso si lo es, ya que difiere en 750.000 euros. Se observa una clara disminución de los costes de las carteras empleando las *Greedy Heuristics*.

En el siguiente apartado se plantea una variante del problema. Se modifican los datos de entrada, planteando 10 escenarios presupuestarios para analizar las carteras de proyectos obtenidas para el método ascendente, descendente e intermedio de las *Greedy Heuristics*, para comprobar que las carteras obtenidas en cada caso, pueden no ser necesariamente las mismas.

## 6.6. Variante del problema

Se plantea el mismo método para los siguientes valores presupuestarios:

80.000 €	90.000 €	100.000 €	120.000 €	130.000 €
140.000 €	150.000 €	165.000 €	180.000 €	200.000 €

Tabla 12: Variante del Problema

En este caso, son 10, por lo que se indicará este valor en la correspondiente casilla de la pestaña “Escenarios Presupuestarios”. De este modo, se estudiarán los resultados obtenidos empleando estos datos para cada uno de los 3 casos.

### a) Presupuesto ascendente

Las carteras obtenidas para cada escenario son las siguientes:

Proyectos	ESCENARIOS PRESUPUESTARIOS: MÉTODO ASCENDENTE									
	80.000 €	90.000 €	100.000 €	120.000 €	130.000 €	140.000 €	150.000 €	165.000 €	180.000 €	200.000 €
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Coste total</b>	75.000 €	75.000 €	75.000 €	110.000 €	110.000 €	110.000,00 €	145.000,00 €	145.000,00 €	145.000,00 €	200.000,00 €
<b>VAN total</b>	2.781.472 €	2.781.472 €	2.781.472 €	3.846.324 €	3.846.324 €	3846324,427	4904572,662	4904572,662	4904572,662	6091501,691
<b>Dif. Presup</b>	15.000 €	25.000 €	45.000 €	20.000 €	30.000 €	40.000,00 €	20.000,00 €	35.000,00 €	55.000,00 €	

Figura 50: Cartera de proyectos obtenida en la Variante del Problema caso ascendente

Se puede observar en la Figura 50, que el proyecto 3 al igual que en los apartados anteriores, no forma parte de la cartera en ninguno de los casos, debido a su alto coste.

PROYECTOS	VAN	Coste
1	1.186.929 €	55.000 €
3	1.441.228 €	60.000 €
4	1.230.224 €	25.000 €
7	1.064.853 €	35.000 €
9	1.551.247 €	50.000 €
10	1.058.248 €	35.000 €
	0 €	0 €
	0 €	0 €
	0 €	0 €
	0 €	0 €

Figura 51: Proyectos candidatos

El proyecto 1, posee un coste también bastante elevado tal y como se observa en la Figura 51 y únicamente formará parte de la cartera con el presupuesto máximo de 200.000 euros.

b) Presupuesto descendente

Proyectos	ESCENARIOS PRESUPUESTARIOS: MÉTODO DESCENDENTE									
	200.000 €	180.000 €	165.000 €	150.000 €	140.000 €	130.000 €	120.000 €	100.000 €	90.000 €	80.000 €
1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Coste total</b>	200.000 €	165.000 €	165.000 €	130.000 €	130.000 €	130.000,00 €	75.000 €	75.000 €	75.000 €	75.000,00 €
<b>VAN total</b>	6.091.502 €	5.033.253 €	5.033.253 €	3.968.401 €	3.968.401 €	3.968.400,537	2.781.472 €	2.781.472 €	2.781.472 €	2.781.471,509

Figura 52: Cartera de proyectos obtenida en la Variante del Problema caso descendente

Se puede ver en este caso, que las carteras obtenidas son distintas que en el caso anterior.

Por ejemplo, para el método ascendente, para un presupuesto de 120.000 la cartera la formarían los proyectos: {4,7,9}, mientras que en este caso serían los proyectos: {4,9}. Por otro lado, se puede analizar que los valores del VAN son para presupuestos grandes, generalmente superiores en las carteras pertenecientes al método descendente.

Se puede concluir que, al añadir más escenarios posibles, las carteras varían para valores presupuestarios intermedios.

c) Presupuesto intermedio

Se toma en este caso un presupuesto intermedio de 140.000 euros, por lo que el número de presupuestos por encima serían 4 y por debajo 5. Se indica esta información en las casillas correspondientes de la pestaña “Escenarios Presupuestarios”

Al ejecutar el botón se obtiene la siguiente solución:

METODO INTERMEDIO						
Proyectos	80.000 €	90.000 €	100.000 €	120.000 €	130.000 €	
1	0	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	0	
4	1	1	1	1	1	
7	1	1	1	1	1	
9	0	0	0	0	0	
10	0	0	1	1	1	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	
<b>Coste total</b>	60.000 €	60.000 €	95.000 €	95.000 €	95.000 €	
<b>VAN total</b>	2.295.077 €	2.295.077 €	3.353.325 €	3.353.325 €	3.353.325 €	
<b>Dif. Presup</b>		35.000 €	25.000 €	35.000 €		

Figura 53: Cartera de proyectos obtenida en la Variante del Problema caso presupuesto intermedio

Este caso es el más interesante de analizar, debido a las carteras obtenidas. En la figura 53 se puede ver que, el proyecto 3 a pesar de su alto coste, sí que forma parte de las carteras de proyectos a partir del escenario de 120.000. En cambio, es ahora el proyecto 1, el que no forma parte de ninguna cartera.

También, se observa que el VAN óptimo obtenido para un presupuesto de 200.000 euros es menor en este caso que el obtenido en los métodos ascendente y descendente. Esto es debido al menor VAN que tienen los proyectos que forman parte de su cartera, por lo que si el objetivo fundamental es obtener un valor del VAN máximo, este método no sería el más adecuado.

Sin embargo, si el proyecto 3 es interesante que forme parte de la cartera, este método podría proporcionar una buena solución.

## 7. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

---

### 7.1. Conclusiones

Una incorrecta selección de los proyectos a incluir en una cartera de proyectos puede ocasionar numerosos problemas a la organización, así como afectar a la confianza de los tomadores de decisiones.

La metodología más adecuada para desarrollar una cartera para una clase de proyectos puede no ser la mejor para otros casos. Archer y Ghasemzadeh (1999) proponen un modelo compuesto por tres fases destinadas a una correcta selección de la cartera: Consideraciones estratégicas, evaluación de los proyectos individualmente, y finalmente, selección de la cartera. Ciertos aspectos son fundamentales y deben tenerse en cuenta: la interdependencia entre proyectos o la participación en el proceso de selección de los tomadores de decisiones.

En cuanto a las técnicas son varias las opciones existentes: desde enfoques comparativos, puntuación de modelos o métodos de optimización.

Esta última técnica de optimización es la empleada por Ali Koç et al (2009) en su artículo *Prioritizing Project Selection*. En él, se plantean distintas metodologías para lograr una óptima priorización de carteras de proyectos.

Tomando como referencia este artículo, en este trabajo se han desarrollado dos técnicas de optimización de carteras de proyectos; la primera de ellas, el método de la Mochila Múltiple, y en segundo lugar, los “algoritmos voraces” o *Greedy Heuristics*.

Gracias a la documentación consultada se han podido comprender estos métodos, las variantes de cada uno de ellos, y su comparativa con otros métodos de programación. Posteriormente, aplicando los conocimientos adquiridos sobre programación en VBA (*Visual Basic for Applications*) en los años de Universidad, se ha desarrollado un complemento para llevar a la práctica estos dos métodos de manera simple.

Se propone un enunciado tipo de un problema de priorización de carteras de proyectos. En dicho enunciado se pide calcular en primer lugar, los proyectos viables desde el punto de vista económico. Dichos proyectos serán los candidatos a formar parte de las carteras de proyectos en ambos métodos de priorización. Se aplica el criterio del índice de rentabilidad superior a la unidad, para definir un proyecto como viable en lugar de tomar como criterio de viabilidad un VAN positivo.

En segundo lugar, partiendo de dichos problemas viables económicamente, se aplican ambos métodos de priorización. Al analizar los resultados se observa que, el método de la Mochila Múltiple obtiene un buen resultado, sin embargo, la solución proporcionada no es demasiado robusta, al variar las carteras casi por completo de un escenario a otro. Se detecta la necesidad de un método que tenga en cuenta dependencias entre los distintos escenarios, aplicando las *Greedy Heuristics* como método de resolución.

En este método se estudian tres posibles casuísticas: En la primera de ellas se parte del presupuesto más bajo y este se va incrementando; en la segunda sucede al contrario, y en la tercera, se parte de un presupuesto intermedio. Aplicando el enunciado en dichos casos se observa que, las carteras obtenidas en los métodos ascendente y descendente son iguales, por lo que no se pueden obtener conclusiones de momento. En el caso del presupuesto intermedio las carteras difieren en algún punto, pero tampoco se puede notar una ventaja evidente de un método sobre otro. Lo que sí se puede observar es que, el proyecto 3 no forma parte de ninguna cartera.

Se plantea entonces una comparación entre los métodos de la Mochila y las *Greedy Heuristics* con el fin de conocer cuál de ellos proporciona una mejor solución. Se realizan dos comparativas; la primera de ellas, entre el Método de la Mochila y el caso del presupuesto ascendente de las *Greedy Heuristics*, y la segunda, entre el método de la Mochila y el caso del presupuesto intermedio de las *Greedy Heuristics*. En ambos casos se observa una clara diferencia en cuanto al VAN obtenido, obteniéndose un valor del VAN superior, tal y como es lógico, en el método de la Mochila, al no tener en cuenta dependencias entre los escenarios, y buscar simplemente la cartera óptima para cada uno de ellos. Sin embargo, en la segunda comparativa se analiza una clara disminución de los costes empleando las *Greedy Heuristics*; hecho que puede ser interesante a la hora de decantarse por un método o el otro.

Por último, con el objetivo de demostrar que el complemento programado ofrece una solución flexible, se ha ejecutado el método heurístico para otros datos distintos de escenarios presupuestarios, con el fin de obtener carteras distintas en cada una de las casuísticas

Las carteras obtenidas son significativamente distintas en los tres casos. Se observa que, el caso del presupuesto intermedio proporciona una solución interesante, ya que, por primera vez el proyecto 3 entra a formar parte de la cartera, quedándose fuera el proyecto 1, para los 10 escenarios. Este hecho es de vital importancia, ya que, si en un determinado momento los tomadores de decisiones tuvieran que forzar a que el proyecto 3 se llevara a cabo, este método podría proporcionar una buena solución.

## 7.2. Líneas futuras

Las líneas futuras propuestas a desarrollar con relación al trabajo realizado son:

- Desarrollar una librería de problemas para realizar *benchmarking* entre diferentes métodos de priorización de carteras de proyectos.
- Desarrollar los métodos programados en el complemento Excel de este trabajo mediante otras herramientas de programación como MATLAB, Python...
- Integrar el análisis realizado con los métodos de valoración y financiación de carteras de proyectos.





## BIBLIOGRAFÍA

---

- Alaya, I. (2009) *Optimisation multi-objectif par colonies de fourmis : cas des problèmes de sac à dos*. Ordinateur et société [cs.CY]. Université Claude Bernard - Lyon I, Français.
- Archer, N. & Ghasemzadeh, F. (1999). *An Integrated Framework for Project Portfolio Selection*. *International Journal of Project Management*.
- Beaujon, G. J., Marin, S. P. and McDonald, G. C. (2001), Balancing and optimizing a portfolio of R&D projects. *Naval Research Logistics*, 48: 18-40. doi:[10.1002/1520-6750\(200102\)48:1<18::AID-NAV2>3.0.CO;2-7](https://doi.org/10.1002/1520-6750(200102)48:1<18::AID-NAV2>3.0.CO;2-7)
- Carazo, A., Gómez, T. y Pérez, F. (2011). Análisis de los principales aspectos que afectan a la decisión de selección y planificación de carteras de proyectos. *Revista Electronica de Comunicaciones y trabajos de ASEPUMA*.
- Carazo, A., Gómez, T., Guerrero, F.M. y Caballero, R. (2008). Evaluación y clasificación de las técnicas utilizadas por las organizaciones, en las últimas décadas, para seleccionar proyectos. *Revista de Métodos cuantitativos para la economía y la empresa*.
- Coldrick, S., Longhurst P., Ivey P. & Hannis J. (2005). An R&D options selection model for investment decisions. *Technovation*
- Cormen T., Leiserson Ch. & Rivest R. (2001) *Introduction to Algorithms*, MIT Press, Editorial McGraw Hill.
- Dehouche, N. (2014) *Management de portefeuilles de projets: Modèles multicritère d'évaluation, de sélection et d'argumentation*. Recherche opérationnelle [cs.RO]. Université Paris-Dauphine, Français.
- Dickinson, W., Thornton, A.C. & Graves, S. (2001), *Technology Portfolio Management: Optimizing Interdependent Projects Over Multiple Time Periods*, IEEE Transactions on engineering Management
- Ghasemzadeh, F. & Archer N.P. (1998) *Project portfolio selection through decision support*, Canada, Elsevier Science B.V.
- Hernández, C. (2010) Gestión del valor de carteras de proyectos. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Valladolid.
- Koç, A., Morton, D., Popova, E., Hess, S., Kee, E. & Richards, D. (2009) Prioritizing Project Selection, *The Engineering Economist*, 54:4, 267-297, DOI: 10.1080/00137910903338545
- Laabadi, S., Naimi, M., El Amri, H. & Achchab, B. (2018) *The 0/1 Multidimensional Knapsack Problem and Its Variants: A Survey of Practical*

*Models and Heuristic Approaches*. American Journal of Operations Research.  
<https://doi.org/10.4236/ajor.2018.85023>

Lahaye, D. (2009), *Sélection dynamique de portefeuille de projets*, Thèse de mémoire en Science de Gestion, Université du Québec à Rimouski.

Levine, H. (2005). *Project Portfolio Management. A Practical Guide to Selecting Projects, Managing Portfolios, and Maximizing Benefits*, Estados Unidos. John Wiley & Sons Inc

Martinsuo, M. & Lehtonen, P. (2007) Role of single-project management in achieving portfolio management efficiency. *International Journal of Project Management*.

Meier, H., Christofides, N. & Salkin, G. (2001) Capital Budgeting Under Uncertainty. An Integrated Approach Using Contingent Claims Analysis and Integer Programming. *Operations Research*  
<https://doi.org/10.1287/opre.49.2.196.13531>

Oltmann, J. (2008). Project portfolio management: how to do the right projects at the right time. Paper presented at PMI® Global Congress 2008—North America, Denver, CO. Newtown Square, PA: Project Management Institute.

Pacheco, J.F. y Contreras, E. (2008). Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos. Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES).

Radulescu, C. & Radulescu, M. (2001) Project portfolio selection models and decision support. *Studies in Informatics and Control*

Schmidt, R.L. (1993) "A model for R&D project selection with combined benefit, outcome and resource interactions," in *IEEE Transactions on Engineering Management*. doi: 10.1109/17.257733

Tripp, L. (2007). *Herramientas de selección y priorización del portafolio estratégico de proyectos: The tools for selecting and prioritizing strategic project portfolios*. Paper presented at PMI® Global Congress 2007—Latin America, Cancún, Mexico. Newtown Square, PA: Project Management Institute.

Weistroffer, H.R. (2005), *Decision support for portfolio problems*, Virginia Commonwealth University.





# ANEXOS



## ANEXO 1: VIABILIDAD DE PROYECTOS

---

Mediante la siguiente Macro se obtiene la lista de proyectos viables económicamente.

Sub Lista\_Proyectos()

'Esta Macro sirve para crear una lista de proyectos viables a partir de una lista de máximo 10 proyectos de partida'

'El criterio escogido para determinar si un proyecto es viable es el de  $IR > 1$ '

'Esta lista ordenada de proyectos viables es el punto de partida para la aplicación de los diferentes métodos'

'Se listan los proyectos viables en la columna P, siguiendo unas reglas condicionales. Se copia esa columna'

```
Range("P7:P16").Select
```

```
Selection.Copy
```

'Se pegan esos datos en la columna L, donde se generará la lista'

```
Range("L7").Select
```

```
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks _
```

```
:=False, Transpose:=False
```

```
Application.CutCopyMode = False
```

'Se eliminan duplicados'

```
ActiveSheet.Range("$L$6:$L$16").RemoveDuplicates Columns:=1,  
Header:=xlYes
```

'Se cambia el estilo de las celdas'

```
Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
```

```
Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
```

```
With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
```

```

.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeTop)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeRight)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlInsideVertical)
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)

```



```
.LineStyle = xlContinuous
.ColorIndex = 0
.TintAndShade = 0
.Weight = xlThin
End With
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlGeneral
    .VerticalAlignment = xlCenter
    .WrapText = False
    .Orientation = 0
    .AddIndent = False
    .IndentLevel = 0
    .ShrinkToFit = False
    .ReadingOrder = xlContext
    .MergeCells = False
End With
With Selection
    .HorizontalAlignment = xlCenter
    .VerticalAlignment = xlCenter
    .WrapText = False
    .Orientation = 0
    .AddIndent = False
    .IndentLevel = 0
    .ShrinkToFit = False
    .ReadingOrder = xlContext
    .MergeCells = False
End With

'Se corrige error de formato'
Range("L7").Select
```

```
ActiveCell.Offset(Range("J17").Value, 0).Select  
ActiveCell.FormulaR1C1 = ""
```

```
End Sub
```

## ANEXO 2: ESCENARIOS PRESUPUESTARIOS

---

La siguiente Macro copia los escenarios introducidos de manera manual en las pestañas correspondientes del Excel.

Sub Escenarios()

'Esta Macro toma los escenarios presupuestarios que se introducen como dato y los coloca en las pestañas de los distintos metodos'

Dim num\_escen As Integer

Dim num\_escen\_copia As Integer

Dim num\_intermedio As Integer

Dim cont1 As Integer

Dim cont2 As Integer

Dim cont3 As Integer

num\_escen = Range("D3").Value

num\_escen\_copia = num\_escen

num\_intermedio = Range("G12").Value

cont1 = 0

cont2 = 0

cont3 = 0

'Se copian los escenarios en la pestaña correspondiente al Método de la Mochila Múltiple'

Do While cont1 < num\_escen

    Sheets("Escenarios Presupuestarios").Select

    Range("B7").Select

    ActiveCell.Offset(0, cont1).Select

    Selection.Copy

    Sheets("Mochila Multiple").Select

    Range("C24").Select

    ActiveCell.Offset(0, cont1).Select

```
ActiveSheet.Paste  
Sheets("Escenarios Presupuestarios").Select
```

```
cont1 = cont1 + 1
```

Loop

'Se copian los escenarios en la pestaña correspondiente al Método basado en Greedy Heuristics'

```
Do While cont2 < num_escen
```

```
Sheets("Escenarios Presupuestarios").Select  
Range("B7").Select  
ActiveCell.Offset(0, cont2).Select  
Selection.Copy  
Sheets("Greedy Heuristic").Select  
Range("C24").Select  
ActiveCell.Offset(0, cont2).Select  
ActiveSheet.Paste  
Sheets("Escenarios Presupuestarios").Select
```

```
cont2 = cont2 + 1
```

Loop

'Se copian los escenarios en el caso del presupuesto descendente, es decir, de mayor a menor'

```
Do While cont3 < num_escen
```

```
Sheets("Escenarios Presupuestarios").Select
Range("B7").Select
ActiveCell.Offset(0, num_escen_copia - 1).Select
Selection.Copy
Sheets("Greedy Heuristic").Select
Range("C41").Select
ActiveCell.Offset(0, cont3).Select
ActiveSheet.Paste
Sheets("Escenarios Presupuestarios").Select
```

```
num_escen_copia = num_escen_copia - 1
cont3 = cont3 + 1
```

Loop

```
Application.CutCopyMode = False
```

End Sub



## ANEXO 3: PROGRAMACIÓN DEL MÉTODO DE LA MOCHILA MÚLTIPLE

---

Esta Macro ejecuta el método de la Mochila Múltiple y obtiene las carteras de proyectos formadas para cada escenario presupuestario definido.

Sub MochilaMultiple()

'Macro para aplicar el método de la mochila múltiple'

'Se aplica Solver para obtener la mejor combinación de proyectos para cada escenario'

'Se definen el número de escenarios y la variable contador'

Dim num\_escenarios As Integer

Dim contador As Integer

num\_escenarios = Range("H5").Value

contador = 0

'Se realiza un bucle que aplique Solver tantas veces como escenarios se tengan'

Do While contador < num\_escenarios

'Se copia el valor de escenario en la celda de presupuesto disponible'

Range("C24").Select

ActiveCell.Offset(0, contador).Select

Selection.Copy

Range("L11").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks \_

:=False, Transpose:=False

Range("L12").Select

'Se ejecuta Solver'

SolverReset

SolverOk SetCell:="\$K\$17", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0,  
ByChange:="\$G\$11:\$G\$20", Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"

SolverAdd CellRef:=Range("G11:G20"), Relation:=5

SolverAdd CellRef:=Range("K11"), Relation:=1, FormulaText:=Range("L11")

SolverSolve

'Se copian los resultados de cada escenario en la tabla resumen'

Range("G11:G20").Select

Selection.Copy

Range("C25").Select

ActiveCell.Offset(0, contador).Select

ActiveSheet.Paste

Range("K11").Select

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

Range("C35").Select

ActiveCell.Offset(0, contador).Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks \_

:=False, Transpose:=False

Range("K17").Select

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

Range("C36").Select

ActiveCell.Offset(0, contador).Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks \_

:=False, Transpose:=False



'Se actualiza el contador'

contador = contador + 1

Loop

Application.CutCopyMode = False

'Se copian los resultados en la pestaña "Comparativa"

Range("B24:Z36").Select

Selection.Copy

Sheets("Comparativa").Select

Range("B6").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks \_

:=False, Transpose:=False

Range("A6").Select

End Sub

Nota: En esta Macro, el bucle "While" es fundamental, ya que es lo que permite que, se realice el procedimiento tantas veces como escenarios existan. De hecho, al pulsar el botón del Excel, nos aparecerá una ventana, la cual habrá que aceptar un número de veces igual al número de escenarios existentes.



## ANEXO 4: PROGRAMACIÓN DEL MÉTODO BASADO EN GREEDY HEURISTICS

---

Esta Macro ejecuta el método de priorización basado en *Greedy Heuristics* y obtiene las carteras de proyectos formadas para cada escenario presupuestario definido y para cada una de las casuísticas del modelo.

- Caso del presupuesto ascendente

Sub GreedyBajo()

'Macro para aplicar las Greedy Heuristics comenzando por el presupuesto más bajo'

'Se aplica Solver para obtener la mejor combinación de proyectos para cada escenario'

'Mantiene la decisión tomada en la primera iteración'

'Se definen el número de escenarios y la variable contador'

Dim num\_escenarios As Integer

Dim contador As Integer

Dim num\_proy\_iniciales As Integer

num\_escenarios = Range("H4").Value

contador = 0

num\_proy\_iniciales = Range("D5").Value

'ITERACIÓN INICIAL'

'Se copia el valor de escenario en la celda de presupuesto disponible'

Range("C24").Select

Selection.Copy

Range("L11").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks \_

:=False, Transpose:=False

Range("L12").Select

'Se ejecuta Solver'

SolverReset

SolverOk SetCell:="\$K\$17", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0,  
ByChange:="\$G\$11:\$G\$20", Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"

SolverAdd CellRef:=Range("G11:G20"), Relation:=5

SolverAdd CellRef:=Range("K11"), Relation:=1, FormulaText:=Range("L11")

SolverSolve

'Se copian los resultados del primer escenario en la tabla resumen'

Range("G11:G20").Select

Selection.Copy

Range("C25").Select

ActiveSheet.Paste

Range("K11").Select

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

Range("C35").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks \_

:=False, Transpose:=False

Range("K17").Select

Application.CutCopyMode = False

Selection.Copy

Range("C36").Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks \_

:=False, Transpose:=False

'Se realiza un bucle que aplique Solver tantas veces como escenarios tengamos'

```
Do While contador < (num_escenarios - 1)
```

'Se realiza la diferencia de presupuesto'

```
Range("C37").Select  
ActiveCell.Offset(0, contador).Select  
Application.CutCopyMode = False  
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-13]C[1]-R[-2]C"
```

'Se copia la diferencia de presupuesto en la celda de presupuesto disponible en restricciones sucesivas'

```
Range("C37").Select  
ActiveCell.Offset(0, contador).Select  
Selection.Copy  
Range("O6").Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
Range("O7").Select
```

'Se copia la cartera de proyectos del paso anterior'

```
Dim cont_copia1 As Integer  
cont_copia1 = 0
```

```
Do While cont_copia1 < num_proy_iniciales
```

```
Range("C25").Select  
ActiveCell.Offset(cont_copia1, contador).Select  
Selection.Copy
```

```

Range("S11").Select
ActiveCell.Offset(cont_copia1, 0).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("N11").Select
ActiveCell.Offset(cont_copia1, 0).Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(RC[5]=1,0,RC[-8])"
Range("P11").Select
ActiveCell.Offset(cont_copia1, 0).Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(RC[-2]=0,0,1)"

cont_copia1 = cont_copia1 + 1

```

Loop

'Se ejecuta Solver'

```

SolverReset
SolverOk SetCell:="$Q$6", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0,
ByChange:="$O$11:$O$20", Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"
SolverAdd CellRef:=Range("O11:O20"), Relation:=5
SolverAdd CellRef:=Range("N6"), Relation:=1, FormulaText:=Range("O6")

SolverSolve

```

'Se saca la nueva cartera de proyectos'

```

Dim cont_copia2 As Integer
cont_copia2 = 0

Do While cont_copia2 < num_proy_iniciales

```

```
Range("T11").Select
ActiveCell.Offset(cont_copia2, 0).Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(RC[-1]+RC[-5]=0,0,1)"
```

```
cont_copia2 = cont_copia2 + 1
```

Loop

'Se copian los resultados de cada escenario en la tabla resumen'

```
Range("T11:T20").Select
Selection.Copy
Range("D25").Select
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("C35").Select
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
Selection.Copy
Range("R6").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("R8").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-1]C+R[-2]C"
Selection.Copy
Range("D35").Select
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
```

```

:=False, Transpose:=False
Range("C36").Select
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
Selection.Copy
Range("S6").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("S8").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-1]C+R[-2]C"
Selection.Copy
Range("D36").Select
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

```

'Se actualiza el contador'

```

contador = contador + 1

```

Loop

```

Application.CutCopyMode = False

```

'Se copian los resultados en la pestaña Comparativa'

```

Range("B24:Z37").Select
Selection.Copy
Sheets("Comparativa").Select
Range("B29").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _

```



```
:=False, Transpose:=False  
Range("A6").Select
```

```
Application.CutCopyMode = False  
End Sub
```

- Caso del presupuesto descendente

```
Sub GreedyAlto()
```

```
'Macro para aplicar el método de Greedy comenzando por el presupuesto más  
alto'
```

```
'Aplica Solver para obtener la mejor combinación de proyectos para cada  
escenario'
```

```
'Mantiene la decisión tomada en la primera iteración'
```

```
'Se define el número de escenarios y la variable contador'
```

```
Dim num_escenarios As Integer
```

```
Dim contador As Integer
```

```
Dim num_proy_iniciales As Integer
```

```
num_escenarios = Range("H4").Value
```

```
contador = 0
```

```
num_proy_iniciales = Range("D5").Value
```

```
'ITERACIÓN INICIAL'
```

```
'Se copia el valor de escenario en la celda de presupuesto disponible'
```

```
Range("C41").Select
```

```
Selection.Copy
```

```
Range("L11").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("L12").Select
```

'Se ejecuta Solver'

```
SolverReset
SolverOk SetCell:="$K$17", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0,
ByChange:="$G$11:$G$20", Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"
SolverAdd CellRef:=Range("G11:G20"), Relation:=5
SolverAdd CellRef:=Range("K11"), Relation:=1, FormulaText:=Range("L11")
SolverSolve
```

'Se copian los resultados del primer escenario en la tabla resumen'

```
Range("G11:G20").Select
Selection.Copy
Range("C42").Select
ActiveSheet.Paste
Range("K11").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Range("C52").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("K17").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Range("C53").Select
```

```
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False
```

'Se realiza un bucle que aplique Solver tantas veces como escenarios se tengan'

```
Do While contador < (num_escenarios - 1)
```

'Se copia el presupuesto en la celda de presupuesto disponible en restricciones sucesivas'

```
Range("D41").Select  
ActiveCell.Offset(0, contador).Select  
Selection.Copy  
Range("O6").Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
Range("O7").Select
```

'Se copia la cartera de proyectos del paso anterior'

```
Dim cont_copia1 As Integer  
cont_copia1 = 0
```

```
Do While cont_copia1 < num_proy_iniciales
```

```
Range("C42").Select  
ActiveCell.Offset(cont_copia1, contador).Select  
Selection.Copy  
Range("S11").Select  
ActiveCell.Offset(cont_copia1, 0).Select
```

```
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks _
```

```
:=False, Transpose:=False
```

```
Range("N11").Select
```

```
ActiveCell.Offset(cont_copia1, 0).Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(RC[5]=0,0,RC[-8])"
```

```
Range("P11").Select
```

```
ActiveCell.Offset(cont_copia1, 0).Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(RC[-2]=0,0,1)"
```

```
cont_copia1 = cont_copia1 + 1
```

```
Loop
```

```
'Se ejecuta Solver'
```

```
SolverReset
```

```
SolverOk SetCell:="$Q$6", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0,  
ByChange:="$O$11:$O$20", Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"
```

```
SolverAdd CellRef:=Range("O11:O20"), Relation:=5
```

```
SolverAdd CellRef:=Range("N6"), Relation:=1, FormulaText:=Range("O6")
```

```
SolverSolve
```

```
'Se obtiene la nueva cartera de proyectos'
```

```
Dim cont_copia2 As Integer
```

```
cont_copia2 = 0
```

```
Do While cont_copia2 < num_proy_iniciales
```

```
Range("T11").Select
ActiveCell.Offset(cont_copia2, 0).Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(RC[-4]+RC[-5]=2,1,0)"
```

```
cont_copia2 = cont_copia2 + 1
```

Loop

'Se copian los resultados de cada escenario en la tabla resumen'

```
Range("T11:T20").Select
Selection.Copy
Range("D42").Select
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("T11:T20").Select
Selection.Copy
Sheets("Comparativa").Select
Range("B48").Select
ActiveCell.Offset(0, num_escenarios - contador - 1).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Sheets("Greedy Heuristic").Select

Range("N6").Select
Selection.Copy
```

```

Range("D52").Select
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("N6").Select
Selection.Copy
Sheets("Comparativa").Select
Range("B58").Select
ActiveCell.Offset(0, num_escenarios - contador - 1).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Sheets("Greedy Heuristic").Select

Range("Q6").Select
Selection.Copy
Range("D53").Select
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("Q6").Select
Selection.Copy
Sheets("Comparativa").Select
Range("B59").Select
ActiveCell.Offset(0, num_escenarios - contador - 1).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

```

```
Sheets("Greedy Heuristic").Select
```

```
'Se actualiza el contador'
```

```
contador = contador + 1
```

```
Loop
```

```
Application.CutCopyMode = False
```

```
'Se copian los resultados en la pestaña "Comparativa"
```

```
Range("B41:B53").Select
```

```
Selection.Copy
```

```
Sheets("Comparativa").Select
```

```
Range("B47").Select
```

```
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks _
```

```
:=False, Transpose:=False
```

```
Range("A6").Select
```

```
Sheets("Greedy Heuristic").Select
```

```
Range("C41:C53").Select
```

```
Selection.Copy
```

```
Sheets("Comparativa").Select
```

```
Range("B47").Select
```

```
ActiveCell.Offset(0, num_escenarios).Select
```

```
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks _
```

```
:=False, Transpose:=False
```

```
Range("A6").Select
```

```
Sheets("Greedy Heuristic").Select
```

```

Range("C24:Z24").Select
Selection.Copy
Sheets("Comparativa").Select
Range("C47").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("A6").Select

Application.CutCopyMode = False

```

```
End Sub
```

- Caso del presupuesto intermedio

```
Sub GreedyMedio()
```

```
'Macro para aplicar el método de Greedy comenzando por un presupuesto intermedio'
```

```
'Aplica Solver para obtener la mejor combinación de proyectos para cada escenario'
```

```
'Mantiene la decisión tomada en la primera iteración'
```

```
'Se definen el número de escenarios y la variable contador'
```

```
Dim num_escen_encima As Integer
```

```
Dim num_escen_debajo As Integer
```

```
Dim num_escen_medio As Integer
```

```
Dim num_escenarios As Integer
```

```
Dim contador As Integer
```

```
Dim cont1 As Integer
```

```
Dim cont2 As Integer
```

```
Dim cont3 As Integer
```

```
Dim cont4 As Integer
```



```
Dim num_proy_iniciales As Integer
num_escenarios = Range("H4").Value
num_escen_medio = Range("X21").Value
num_escen_encima = Range("X22").Value
num_escen_debajo = Range("X23").Value
contador = 0
num_proy_iniciales = Range("D5").Value
cont1 = num_escen_medio
cont2 = 0
cont3 = 0
cont4 = 0
```

'Se borran resultados anteriores'

```
Range("C24:Z37").Select
Selection.ClearContents
Range("C38").Select
Range("C41:Z53").Select
Selection.ClearContents
Range("C38").Select
```

'Se copian los escenarios presupuestarios en esta hoja y se define el comienzo del método'

'Se copian los escenarios del caso ascendente'

```
Do While cont1 < num_escenarios + 1
```

```
    Sheets("Escenarios Presupuestarios").Select
```

```
Range("B7").Select
ActiveCell.Offset(0, cont1 - 1).Select
Selection.Copy
Sheets("Greedy Heuristic").Select
Range("C24").Select
ActiveCell.Offset(0, cont3).Select
ActiveSheet.Paste
Sheets("Escenarios Presupuestarios").Select
```

```
cont1 = cont1 + 1
cont3 = cont3 + 1
```

Loop

'Se copian los escenarios del caso descendente'

Do While cont2 < num\_escen\_debajo + 1

```
Sheets("Escenarios Presupuestarios").Select
Range("B7").Select
ActiveCell.Offset(0, num_escen_medio - cont2 - 1).Select
Selection.Copy
Sheets("Greedy Heuristic").Select
Range("C41").Select
ActiveCell.Offset(0, cont2).Select
ActiveSheet.Paste
Sheets("Escenarios Presupuestarios").Select
```

```
cont2 = cont2 + 1
```

Loop

'ITERACIÓN INICIAL'

'Se copia el valor del escenario en la celda de presupuesto disponible'

```
Sheets("Greedy Heuristic").Select
Range("C24").Select
Selection.Copy
Range("L11").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("L12").Select
```

'Se ejecuta Solver'

```
SolverReset
SolverOk SetCell:="$K$17", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0,
ByChange:="$G$11:$G$20", Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"
SolverAdd CellRef:=Range("G11:G20"), Relation:=5
SolverAdd CellRef:=Range("K11"), Relation:=1, FormulaText:=Range("L11")
SolverSolve
```

'Se copian los resultados del primer escenario en las dos tablas resumen'

```
Range("G11:G20").Select
Selection.Copy
Range("C25").Select
ActiveSheet.Paste
Range("K11").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
```

```
Range("C35").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("K17").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Range("C36").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
```

```
Range("C25:C36").Select
Selection.Copy
Range("C42").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
```

'ASCENDENTE'

'Se realiza un bucle que aplique Solver tantas veces como escenarios se tengan por encima'

```
Do While contador < num_escen_encima
```

'Se saca la diferencia de presupuesto'

```
Range("C37").Select
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-13]C[1]-R[-2]C"
```

'Se copia la diferencia de presupuesto en la celda de presupuesto disponible en restricciones sucesivas'

```
Range("C37").Select
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
Selection.Copy
Range("O6").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("O7").Select
```

'Se copia la cartera de proyectos del paso anterior'

```
Dim cont_copia1 As Integer
cont_copia1 = 0

Do While cont_copia1 < num_proy_iniciales

Range("C25").Select
ActiveCell.Offset(cont_copia1, contador).Select
Selection.Copy
Range("S11").Select
ActiveCell.Offset(cont_copia1, 0).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("N11").Select
ActiveCell.Offset(cont_copia1, 0).Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(RC[5]=1,0,RC[-8])"
Range("P11").Select
ActiveCell.Offset(cont_copia1, 0).Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(RC[-2]=0,0,1)"
```

```
cont_copia1 = cont_copia1 + 1
```

```
Loop
```

```
'Se ejecuta Solver'
```

```
SolverReset
```

```
SolverOk SetCell:="$Q$6", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0,  
ByChange:="$O$11:$O$20", Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"
```

```
SolverAdd CellRef:=Range("O11:O20"), Relation:=5
```

```
SolverAdd CellRef:=Range("N6"), Relation:=1, FormulaText:=Range("O6")
```

```
SolverSolve
```

```
'Se obtiene la nueva cartera de proyectos'
```

```
Dim cont_copia2 As Integer
```

```
cont_copia2 = 0
```

```
Do While cont_copia2 < num_proy_iniciales
```

```
Range("T11").Select
```

```
ActiveCell.Offset(cont_copia2, 0).Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(RC[-1]+RC[-5]=0,0,1)"
```

```
cont_copia2 = cont_copia2 + 1
```

```
Loop
```

```
'Se copian los resultados de cada escenario en la tabla resumen'
```

```
Range("T11:T20").Select
```

```

Selection.Copy
Range("D25").Select
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

Range("C35").Select
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
Selection.Copy
Range("R6").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("R8").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-1]C+R[-2]C"
Selection.Copy
Range("D35").Select
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

Range("C36").Select
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
Selection.Copy
Range("S6").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("S8").Select

```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=R[-1]C+R[-2]C"  
Selection.Copy  
Range("D36").Select  
ActiveCell.Offset(0, contador).Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False
```

'Se actualiza el contador'

```
contador = contador + 1
```

Loop

'DESCENDENTE'

'Se realiza un bucle que aplique Solver tantas veces como escenarios se tengan por debajo'

```
contador = 0
```

```
Do While contador < num_escen_debajo
```

'Se copia el presupuesto en la celda de presupuesto disponible en restricciones sucesivas'

```
Range("D41").Select  
ActiveCell.Offset(0, contador).Select  
Selection.Copy  
Range("O6").Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
Range("O7").Select
```



'Se copia la cartera de proyectos del paso anterior'

Dim cont\_copia3 As Integer

cont\_copia3 = 0

Do While cont\_copia3 < num\_proy\_iniciales

Range("C42").Select

ActiveCell.Offset(cont\_copia3, contador).Select

Selection.Copy

Range("S11").Select

ActiveCell.Offset(cont\_copia3, 0).Select

Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks \_

:=False, Transpose:=False

Range("N11").Select

ActiveCell.Offset(cont\_copia3, 0).Select

ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(RC[5]=0,0,RC[-8])"

Range("P11").Select

ActiveCell.Offset(cont\_copia3, 0).Select

ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(RC[-2]=0,0,1)"

cont\_copia3 = cont\_copia3 + 1

Loop

'Se ejecuta Solver'

SolverReset

SolverOk SetCell:="\$Q\$6", MaxMinVal:=1, ValueOf:=0,  
ByChange:="\$O\$11:\$O\$20", Engine:=1, EngineDesc:="GRG Nonlinear"

SolverAdd CellRef:=Range("O11:O20"), Relation:=5

```
SolverAdd CellRef:=Range("N6"), Relation:=1, FormulaText:=Range("O6")
```

```
SolverSolve
```

```
'Se obtiene la nueva cartera de proyectos'
```

```
Dim cont_copia4 As Integer
```

```
cont_copia4 = 0
```

```
Do While cont_copia4 < num_proy_iniciales
```

```
Range("T11").Select
```

```
ActiveCell.Offset(cont_copia4, 0).Select
```

```
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(RC[-4]+RC[-5]=2,1,0)"
```

```
cont_copia4 = cont_copia4 + 1
```

```
Loop
```

```
'Se copian los resultados de cada escenario en la tabla resumen'
```

```
Sheets("Greedy Heuristic").Select
```

```
Range("T11:T20").Select
```

```
Selection.Copy
```

```
Range("D42").Select
```

```
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
```

```
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,  
SkipBlanks _
```

```
:=False, Transpose:=False
```

```
Range("T11:T20").Select
```

```
Selection.Copy
```

```
Sheets("Comparativa").Select
```

```
Range("C65").Select
ActiveCell.Offset(0, num_escen_debajo - 1 - contador).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Sheets("Greedy Heuristic").Select
```

```
Range("N6").Select
Selection.Copy
Range("D52").Select
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
```

```
Range("N6").Select
Selection.Copy
Sheets("Comparativa").Select
Range("C75").Select
ActiveCell.Offset(0, num_escen_debajo - 1 - contador).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Sheets("Greedy Heuristic").Select
```

```
Range("Q6").Select
Selection.Copy
Range("D53").Select
ActiveCell.Offset(0, contador).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
```

```
Range("Q6").Select
Selection.Copy
Sheets("Comparativa").Select
Range("C76").Select
ActiveCell.Offset(0, num_escen_debajo - 1 - contador).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Sheets("Greedy Heuristic").Select
```

'Se actualiza el contador'

```
contador = contador + 1
```

Loop

```
Application.CutCopyMode = False
```

'Se copian los resultados en la pestaña "Comparativa"'

```
Range("B24:B37").Select
Selection.Copy
Sheets("Comparativa").Select
Range("B64").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("A6").Select
Sheets("Greedy Heuristic").Select
Range("C24:Z37").Select
Selection.Copy
Sheets("Comparativa").Select
```

```

Range("C64").Select
ActiveCell.Offset(0, num_escen_debajo).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Sheets("Greedy Heuristic").Select

Do While cont4 < num_escen_debajo

Range("D41").Select
ActiveCell.Offset(0, cont4).Select
Selection.Copy
Sheets("Comparativa").Select
Range("C64").Select
ActiveCell.Offset(0, num_escen_debajo - 1 - cont4).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Sheets("Greedy Heuristic").Select

cont4 = cont4 + 1

Loop

Application.CutCopyMode = False
End Sub

```



