

Trabajo02: Problema de Decisión Multicriterio

Cristóbal Delgado

2025-10-29

Contents

1 Introducción	2
1.1 Criterios	2
1.2 Alternativas de Inversión	3
2 Método AHP	7
2.1 Matriz de Criterios AHP	7
2.2 Matrices de alternativas	8
2.3 Métodos alternativos:	13
2.4 Diagrama Jerárquico	17
3 Método AHP con el paquete de R	18
3.1 Cálculo de los resultados del paquete AHP con otras funciones	22
3.2 Tabla solución	25
4 Método ELECTRE	27
5 PROMETHEE I	32
5.1 Justificaciones:	32
6 PROMETHEE II	34
6.1 PROMETHEE II (medias)	36
6.2 Resolución con Promethee Windows	38
7 Conclusión	39
7.1 Conclusión Definitiva	40

1 Introducción

Un joven acaba de heredar una suma importante de dinero y tras sopesarlo, ha decidido invertir ese dinero para poder sacar un mayor rendimiento. Tras una extensiva búsqueda, ha encontrado las 5 mejores alternativas de inversión, pero no termina de decidirse. Por ello, ha creado una lista con los 3 criterios, junto a unos subcriterios más concretos, que considera indispensables para cumplir su objetivo. Los criterios y subcriterios son los siguientes:

1.1 Criterios

1.1.1 C.1 Rentabilidad (Prioridad Alta)

Este criterio es el más relevante, ya que el objetivo principal del inversor es **maximizar el crecimiento del capital**.

Incluye subcriterios relacionados con el rendimiento esperado, el nivel de riesgo asumido y el grado de diversificación del portafolio.

- **C.1.1 Retorno Esperado (Prioridad Alta)**

Representa el **porcentaje de beneficio anual esperado** de la inversión.

Es el subcriterio más importante, ya que refleja directamente la rentabilidad potencial del capital invertido.

(Se busca Maximizar)

- **C.1.2 Riesgo (Prioridad Media)**

Mide la **volatilidad y la probabilidad de pérdida** asociada a la inversión.

Aunque se toleran niveles moderados de riesgo para obtener mayores rendimientos, debe mantenerse bajo control.

(Se busca Minimizar)

- **C.1.3 Diversificación (Prioridad Media-Baja)**

Evaluá el **grado en que el capital se reparte entre distintos activos o sectores**, reduciendo la exposición a un único tipo de inversión.

Un portafolio diversificado contribuye a una mayor estabilidad del rendimiento a largo plazo.

(Se busca Maximizar)

1.1.2 C.2 Compromiso (Prioridad Baja)

Este criterio refleja el **grado de tiempo y dedicación** que el inversor está dispuesto a asumir.

Aunque tiene una prioridad baja, influye en la gestión y planificación de las inversiones a medio y largo plazo.

- **C.2.1 Horizonte Temporal (Prioridad Baja)**

Indica el **tiempo mínimo recomendado** para mantener la inversión y alcanzar los objetivos de rentabilidad.

Un horizonte temporal más corto puede implicar mayor riesgo o menor estabilidad.

(Se busca Minimizar)

- **C.2.2 Dedicación (Prioridad Baja)**

Representa las **horas semanales de seguimiento, análisis o gestión** que requiere la inversión.

El inversor prefiere estrategias con baja necesidad de supervisión activa.

(Se busca Minimizar)

1.1.3 C.3 Operativa (Prioridad Media)

Este criterio valora la **facilidad de gestión y operatividad** de la inversión, incluyendo aspectos de liquidez y costes asociados.

- **C.3.1 Liquidez (Prioridad Media)**

Evalúa la **facilidad y rapidez para convertir la inversión en dinero en efectivo sin pérdidas significativas**.

Es un factor importante para quienes buscan flexibilidad y acceso rápido al capital.

(Se busca Maximizar)

- **C.3.2 Comisiones Anuales (Prioridad Media-Baja)**

Representa el **porcentaje de gastos o comisiones anuales** derivados de la inversión (gestión, custodia, mantenimiento, etc.).

Costes más bajos aumentan el rendimiento neto del inversor.

(Se busca Minimizar)

1.2 Alternativas de Inversión

Se presentan cinco alternativas de inversión que el inversor está considerando, junto con los datos relevantes para cada una de ellas:

1.2.1 A1: Acciones Tecnológicas

- **C.1.1 Retorno Esperado:** 18%
- **C.1.2 Riesgo:** 18
- **C.1.3 Diversificación:** 5
- **C.2.1 Horizonte Temporal:** 5 años
- **C.2.2 Dedicación:** 5 h/semana
- **C.3.1 Liquidez:** 10 puntos
- **C.3.2 Comisiones Anuales:** 0.5%

1.2.2 A2: Fondo Indexado (S&P 500)

- **C.1.1 Retorno Esperado:** 9%
- **C.1.2 Riesgo:** 13
- **C.1.3 Diversificación:** 9
- **C.2.1 Horizonte Temporal:** 8 años
- **C.2.2 Dedicación:** 2 h/semana
- **C.3.1 Liquidez:** 8 puntos
- **C.3.2 Comisiones Anuales:** 0.5%

1.2.3 A3: Criptomonedas (Bitcoin)

- **C.1.1 Retorno Esperado:** 25%
- **C.1.2 Riesgo:** 52.2
- **C.1.3 Diversificación:** 1
- **C.2.1 Horizonte Temporal:** 2 años
- **C.2.2 Dedicación:** 8 h/semana
- **C.3.1 Liquidez:** 10 puntos
- **C.3.2 Comisiones Anuales:** 2%

1.2.4 A4: Metales Preciosos (Oro)

- **C.1.1 Retorno Esperado:** 5%
- **C.1.2 Riesgo:** 15.5
- **C.1.3 Diversificación:** 1
- **C.2.1 Horizonte Temporal:** 10 años
- **C.2.2 Dedicación:** 1 h/semana
- **C.3.1 Liquidez:** 6 puntos
- **C.3.2 Comisiones Anuales:** 0.5%

1.2.5 A5: Bonos del Tesoro

- **C.1.1 Retorno Esperado:** 3%
- **C.1.2 Riesgo:** 6
- **C.1.3 Diversificación:** 7
- **C.2.1 Horizonte Temporal:** 10 años
- **C.2.2 Dedicación:** 0 h/semana
- **C.3.1 Liquidez:** 0 puntos
- **C.3.2 Comisiones Anuales:** 0%

Queda recogido en la siguiente tabla:

Criterios / Subcriterios	Min/Max	Acciones Tech (A1)	Fondo Indexado (A2)	Bitcoin (A3)	Oro (A4)	Bonos (A5)
C.1.1 Retorno Esperado (%)	Max	18	9	25	5	
C.1.2 Riesgo (volatilidad, %)	Min	18	13	52.2	15.5	
C.1.3 Diversificación (1-10)	Max	5	9	1	1	
C.2.1 Horizonte Temporal (años)	Min	5	8	2	10	
C.2.2 Dedicación (h/semana)	Min	5	2	8	1	
C.3.1 Liquidez (1-10)	Max	10	8	10	6	
C.3.2 Comisiones anuales (%)	Min	0.5	0.5	2	0.5	

La construyo en R

```
# Datos de la matriz de decisión

datos = data.frame(
  Subcriterio = c(
    "Retorno Esperado (%)",
    "Riesgo (volatilidad, %)",
    "Diversificación (1-10)",
    "Horizonte Temporal (años)",
    "Dedicación (h/semana)",
    "Liquidez (1-10)",
    "Comisiones anuales (%)"
  ),
  A1_Acciones_Tech = c(18, 18, 5, 5, 5, 10, 0.5),
  A2_SP500_Indexado = c(9, 13, 9, 8, 2, 8, 0.5),
  A3_Bitcoin = c(25, 52.2, 1, 2, 8, 10, 2),
  A4_Oro = c(5, 15.5, 1, 10, 1, 6, 0.5),
  A5_Bonos_Tesoro = c(3, 6, 7, 10, 0, 0, 0),
  Objetivo = c("Max", "Min", "Max", "Min", "Min", "Max", "Min"),
  stringsAsFactors = FALSE
)

# Tabla formateada en LaTeX
datos %>%
  kable(
    format = "latex",
    caption = "Matriz de Decisión Final para Alternativas de Inversión",
    col.names = c("Subcriterio",
      "A1: Acciones Tech",
      "A2: S&P 500 Indexado",
      "A3: Bitcoin",
      "A4: Oro",
      "A5: Bonos del Tesoro",
      "Objetivo"),
    align = c('l', rep('c', 5), 'c')
  ) %>%
  column_spec(1, width = "5cm", bold = TRUE) %>%
  add_header_above(c(" " = 1, "Alternativas de Inversión" = 5, " " = 1)) %>%
  kable_styling(latex_options = c("HOLD_position", "scale_down"), full_width = FALSE)
```

Table 1: Matriz de Decisión Final para Alternativas de Inversión

Subcriterio	Alternativas de Inversión					Objetivo
	A1: Acciones Tech	A2: S&P 500 Indexado	A3: Bitcoin	A4: Oro	A5: Bonos del Tesoro	
Retorno Esperado (%)	18.0	9.0	25.0	5.0	3	Max
Riesgo (volatilidad, %)	18.0	13.0	52.2	15.5	6	Min
Diversificación (1-10)	5.0	9.0	1.0	1.0	7	Max
Horizonte Temporal (años)	5.0	8.0	2.0	10.0	10	Min
Dedicación (h/semana)	5.0	2.0	8.0	1.0	0	Min
Líquidez (1-10)	10.0	8.0	10.0	6.0	0	Max
Comisiones anuales (%)	0.5	0.5	2.0	0.5	0	Min

```
# Matriz de decisión para cálculos multicriterio
```

```
matriz_decision = multicriterio.crea.matrizdecision(
  c(
    18, -18, 5, -5, -5, 10, -0.5,
    9, -13, 9, -8, -2, 8, -0.5,
    25, -52.2, 1, -2, -8, 10, -2,
    5, -15.5, 1, -10, -1, 6, -0.5,
    3, -6, 7, -10, 0, 0, -0
  ),
  numalternativas = 5,
  numcriterios = 7,
  v.nombrescri = c(
    "Retorno Esperado (%)",
    "Riesgo (volatilidad, %)",
    "Diversificación (1-10)",
    "Horizonte Temporal (años)",
    "Dedicación (h/semana)",
    "Líquidez (1-10)",
    "Comisiones anuales (%)"
  ),
  v.nombressalt = c(
    "A1: Acciones Tech",
    "A2: S&P 500 Indexado",
    "A3: Bitcoin",
    "A4: Oro",
    "A5: Bonos del Tesoro"
  )
)

matriz_decision
```

```
##                                     Retorno Esperado (%) Riesgo (volatilidad, %)
## A1: Acciones Tech                  18                 -18.0
## A2: S&P 500 Indexado                9                  -13.0
## A3: Bitcoin                         25                 -52.2
## A4: Oro                             5                  -15.5
## A5: Bonos del Tesoro                 3                  -6.0
##                                     Diversificación (1-10) Horizonte Temporal (años)
## A1: Acciones Tech                  5                   -5
## A2: S&P 500 Indexado                9                   -8
## A3: Bitcoin                         1                   -2
## A4: Oro                            1                  -10
```

```

## A5: Bonos del Tesoro           7          -10
##                               Dedicación (h/semana) Liquidez (1-10)
## A1: Acciones Tech             -5          10
## A2: S&P 500 Indexado          -2           8
## A3: Bitcoin                  -8          10
## A4: Oro                       -1           6
## A5: Bonos del Tesoro          0            0
##                               Comisiones anuales (%)
## A1: Acciones Tech            -0.5
## A2: S&P 500 Indexado          -0.5
## A3: Bitcoin                  -2.0
## A4: Oro                       -0.5
## A5: Bonos del Tesoro          0.0

```

2 Método AHP

2.1 Matriz de Criterios AHP

Criterio / Criterio	Retorno	Riesgo	Diversificación	Horizonte	Dedicación	Liquidez	Comisiones
Retorno	1	4	3	5	6	4	5
Riesgo	1/4	1	3	4	5	6	4
Diversificación	1/3	1/3	1	2	3	3	4
Horizonte	1/5	1/4	1/2	1	2	3	3
Dedicación	1/6	1/5	1/3	1/2	1	2	2
Liquidez	1/4	1/6	1/3	1/3	1/2	1	4
Comisiones	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1/4	1

Voy a razonar algunos pesos: Retorno vs. Dedicación (6): El Retorno es el objetivo principal de la inversión, mientras que la Dedicación es un coste secundario y aceptable si la rentabilidad es alta.

Riesgo vs. Liquidez (6): El Riesgo (viabilidad de la cartera) es un pilar fundamental, mientras que la Liquidez (facilidad de venta) es solo un factor de conveniencia.

Retorno vs. Horizonte (5): El Retorno es el objetivo que define los medios; el Horizonte Temporal es una restricción que se adapta al potencial de rentabilidad esperado.

Riesgo vs. Dedicación (5): El Riesgo es un factor fundamental que define la inversión, mientras que la Dedicación es un coste operativo mucho menos relevante.

Construyo la matriz en R

```

##           Retorno      Riesgo Diversificación Horizonte Dedicación
## Retorno    1.0000000 4.0000000      3.0000000 5.0000000      6.0
## Riesgo     0.2500000 1.0000000      3.0000000 4.0000000      5.0
## Diversificación 0.3333333 0.3333333      1.0000000 2.0000000      3.0
## Horizonte   0.2000000 0.2500000      0.5000000 1.0000000      1.0
## Dedicación  0.1666667 0.2000000      0.3333333 1.0000000      1.0
## Liquidez    0.2500000 0.1666667      0.3333333 0.5000000      1.0
## Comisiones  0.2000000 0.2500000      0.2500000 0.3333333      0.5
##           Liquidez Comisiones
## Retorno      4.00       5
## Riesgo       6.00       4
## Diversificación 3.00       4
## Horizonte    2.00       3

```

## Dedicación	1.00	2
## Liquidez	1.00	4
## Comisiones	0.25	1

2.2 Matrices de alternativas

2.2.1 C 1.1: Retorno Esperado (Maximizar)

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	1	3	1/4	5	8
A_2	1/3	1	1/6	3	5
A_3	4	6	1	8	9
A_4	1/5	1/3	1/8	1	4
A_5	1/8	1/5	1/9	1/4	1

Razonamiento de las más extremas

A_5 (bonos) es la que genera menor rendimiento respecto a cualquiera, como queda reflejado

A_3 (bitcoin) es la que mayor genera, por lo tanto tiene valores mayores a 0 frente a cualquier otra alternativa

2.2.2 C 1.2: Riesgo (Minimizar)

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	1	3	1/6	5	6
A_2	1/3	1	1/7	3	5
A_3	6	7	1	9	9
A_4	1/5	1/3	1/9	1	1/2
A_5	1/6	1/5	1/9	2	1

A_5 (Bonos del Tesoro, 6%) es la alternativa menos riesgosa frente a todas las demás, como se refleja en los valores altos frente a A_3 .

A_3 (Bitcoin, 52.2%) es la alternativa más volátil, con valores elevados frente a cualquier otra alternativa.

2.2.3 C 1.3: Diversificación (Maximizar)

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	1	1/5	8	8	7
A_2	5	1	9	9	8
A_3	1/8	1/9	1	1	1/2
A_4	1/8	1/9	1	1	1/2
A_5	1/7	1/8	2	2	1

A_2 (Fondo Indexado, 9) es la alternativa con mayor diversificación; A_3 (Bitcoin, 1) la que menor diversificación ofrece.

A_2 vs A_1 (5) refleja que el fondo indexado aporta una diversificación significativamente superior a las acciones tech.

A_5 vs A_4 (2) indica que los bonos aportan algo más de diversificación que el oro.

2.2.4 C 2.1: Horizonte Temporal (Minimizar)

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	1	4	1/3	5	8
A_2	1/4	1	1/6	6	1
A_3	3	6	1	8	9
A_4	1/5	1/6	1/8	1	3
A_5	1/8	1/7	1/9	1/3	1

A_3 (Bitcoin, 2 años) tiene el horizonte temporal más corto, por lo que es la mejor opción para inversiones a plazo menor.

A_4 y A_5 (Oro y Bonos, 10 años) requieren un horizonte mucho mayor, por eso tienen valores más bajos frente a A_3 .

2.2.5 C 2.2: Dedicación (Minimizar)

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	1	4	1/7	8	8
A_2	1/4	1	1/8	7	7
A_3	7	8	1	9	9
A_4	1/8	1/7	1/9	1	1
A_5	1/8	1/7	1/9	1	1

A_3 (Bitcoin, 4 años) tiene el horizonte temporal más corto, por lo que es la mejor opción para inversiones a plazo menor.

A_4 y A_5 (Oro y Bonos, 10 años) requieren un horizonte mucho mayor, por eso tienen valores más bajos frente a A_3 .

2.2.6 C 3.1: Liquidez (Maximizar)

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	1	6	1/4	7	9
A_2	1/6	1	1/7	8	9
A_3	4	7	1	9	9
A_4	1/7	1/8	1/9	1	7
A_5	1/9	1/9	1/9	1/7	1

A_3 (Bitcoin) tiene la máxima liquidez entre todas las alternativas.

A_5 (Bonos) es la que menos liquidez ofrece, como reflejan los valores bajos frente a otras alternativas.

A_4 vs A_5 (2) indica que el oro tiene algo más de liquidez que los bonos.

2.2.7 C 3.2: Comisiones (Minimizar)

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
A_1	1	1	1/8	1	7
A_2	1	1	1/8	1	7
A_3	8	8	1	8	9
A_4	1	1	1/8	1	7
A_5	1/7	1/7	1/9	1/7	1

A_5 (Bonos, 0%) es la alternativa con menores comisiones anuales, siendo la mejor frente a todas las demás.

A3 (Bitcoin, 2%) es la alternativa más cara de mantener, justificando los valores altos frente a A5 y A1–A4. A1 y A2 (Acciones Tech, oro y Fondo Indexado, 0.5%) son iguales y más económicas que Bitcoin.

```
# Nombres de las alternativas de inversión
nombre_alternativas = c("Acciones_Tech", "Fondo_Indexado", "Bitcoin", "Oro", "Bonos")

# C1.1 Retorno (Maximizar)
tabla_Retorno = multicriterio.crea.matrizvaloraciones_mej(
  c(
    3, 1/4, 5, 8,
    6, 3, 5,
    8, 9,
    4
  ),
  numalternativas = 5,
  v.nombres.alternativas = nombre_alternativas
)

# C1.2 Riesgo (Minimizar)
tabla_Riesgo = multicriterio.crea.matrizvaloraciones_mej(
  c(
    3, 1/6, 5, 6,
    1/7, 3, 5,
    9, 9,
    1/2
  ),
  numalternativas = 5,
  v.nombres.alternativas = nombre_alternativas
)

# C1.3 Diversificación (Maximizar)
tabla_Diversificacion = multicriterio.crea.matrizvaloraciones_mej(
  c(
    1/5, 8, 8, 7,
    9, 9, 8,
    1, 1/2,
    1/2
  ),
  numalternativas = 5,
  v.nombres.alternativas = nombre_alternativas
)

# C2.1 Horizonte Temporal (Minimizar)
tabla_Horizonte = multicriterio.crea.matrizvaloraciones_mej(
  c(
    4, 1/3, 5, 8,
    1/6, 6, 1,
    8, 9,
    3
  ),
  numalternativas = 5,
  v.nombres.alternativas = nombre_alternativas
)
```

```

# C2.2 Dedicación (Minimizar)
tabla_Dedicacion = multicriterio.crea.matrizvaloraciones_mej(
  c(
    4, 1/7, 7, 8,
    1/8, 6, 7,
    9, 9,
    3
  ),
  numalternativas = 5,
  v.nombres.alternativas = nombre_alternativas
)

# C3.1 Liquidez (Maximizar)
tabla_Liquidez = multicriterio.crea.matrizvaloraciones_mej(
  c(
    6, 1/4, 7, 9,
    1/7, 8, 9,
    9, 9,
    7
  ),
  numalternativas = 5,
  v.nombres.alternativas = nombre_alternativas
)

# C3.2 Comisiones (Minimizar)
tabla_Comisiones = multicriterio.crea.matrizvaloraciones_mej(
  c(
    1, 1/8, 1, 7,
    1/8, 1, 7,
    8, 9,
    7
  ),
  numalternativas = 5,
  v.nombres.alternativas = nombre_alternativas
)

```

Usando las funciones R vistas en clase: ## Método 1: mayor autovalor

```

# Pesos locales usando método del mayor autovalor

prioridad_criterios = multicriterio.metodoAHP.variente1.autovectormayorautovalor(Matriz_criterios)
prioridad_dedicacion = multicriterio.metodoAHP.variente1.autovectormayorautovalor(tabla_Dedicacion)
prioridad_liquidez = multicriterio.metodoAHP.variente1.autovectormayorautovalor(tabla_Liquidez)
prioridad_volatilidad = multicriterio.metodoAHP.variente1.autovectormayorautovalor(tabla_Diversificacion)
prioridad_retorno = multicriterio.metodoAHP.variente1.autovectormayorautovalor(tabla_Retorno)
prioridad_riesgo = multicriterio.metodoAHP.variente1.autovectormayorautovalor(tabla_Riesgo)
prioridad_comisiones = multicriterio.metodoAHP.variente1.autovectormayorautovalor(tabla_Comisiones)
prioridad_horizonte = multicriterio.metodoAHP.variente1.autovectormayorautovalor(tabla_Horizonte)

matriz_prioridades_alternativas = rbind(
  prioridad_dedicacion$valoraciones.ahp,
  prioridad_liquidez$valoraciones.ahp,
  prioridad_volatilidad$valoraciones.ahp,

```

```

prioridad_retorno$valoraciones.ahp,
prioridad riesgo$valoraciones.ahp,
prioridad_comisiones$valoraciones.ahp,
prioridad_horizonte$valoraciones.ahp

)

prioridad_final_AHP = multicriterio.metodoAHP.pesosglobales_entabla(
prioridad_criterios$valoraciones.ahp,
matriz_prioridades_alternativas
)

prioridad_final_AHP

```

	Retorno	Riesgo	Diversificación	Horizonte	Dedicación
## Acciones_Tech	0.21060457	0.28049075	0.27113672	0.26851024	0.19939179
## Fondo_Indexado	0.11273868	0.13460351	0.58886215	0.35827657	0.10994913
## Bitcoin	0.61130053	0.51418417	0.03904300	0.29614610	0.60867355
## Oro	0.03985950	0.04971108	0.03904300	0.05186567	0.03746314
## Bonos	0.02549672	0.02101050	0.06191512	0.02520141	0.04452239
## Ponder.Criterios	0.38704392	0.24595876	0.13289098	0.07622917	0.05661286
	Liquidez	Comisiones	Ponderadores	Globales	
## Acciones_Tech	0.10942611	0.27325268		0.23539923	
## Fondo_Indexado	0.10942611	0.11564455		0.19984162	
## Bitcoin	0.64503944	0.50524667		0.48546639	
## Oro	0.10942611	0.05854681		0.04812620	
## Bonos	0.02668221	0.04730929		0.03116655	
## Ponder.Criterios	0.06447039	0.03679391		NA	

2.2.8 Interpretación

Bitcoin domina la decisión (0.4855) debido a su alto retorno, buena liquidez, pese al alto riesgo intrínseco. Ya que el inversor valora mucho el retorno y el riesgo en menor medida

Acciones Tech (0.2354) Buen retorno y liquidez, riesgo moderado. Segunda opción, pero significativamente detrás de Bitcoin.

Fondo Indexado (0.1998) Alta diversificación, riesgo medio-bajo, retorno moderado. Equilibrada, pero menos valorada porque Retorno pesa más que Diversificación.

Oro y Bonos (0.0481 y 0.0312) No destacan en los criterios más importantes (Retorno y Riesgo). Peso global muy bajo, por lo que serían opciones menos preferidas

2.2.9 Conclusión global

La decisión del AHP prioriza retornos altos sobre la minimización de riesgo o comisiones. Alternativas con retorno alto y liquidez decente se benefician, incluso si el riesgo es alto (Bitcoin y Tech) mientras que las alternativas conservadoras (Oro, Bonos) quedan al final.

2.3 Métodos alternativos:

2.3.1 Método de la Media Geométrica

```
geomatriz_criterios = multicriterio.metodoAHP.variante2.mediageométrica(Matriz_criterios)
geomatriz_criterios

## $Xmat
##           Retorno     Riesgo Diversificación Horizonte Dedicación
## Retorno      1.0000000 4.0000000      3.0000000 5.0000000      6.0
## Riesgo       0.2500000 1.0000000      3.0000000 4.0000000      5.0
## Diversificación 0.3333333 0.3333333      1.0000000 2.0000000      3.0
## Horizonte    0.2000000 0.2500000      0.5000000 1.0000000      1.0
## Dedicación   0.1666667 0.2000000      0.3333333 1.0000000      1.0
## Liquidez     0.2500000 0.1666667      0.3333333 0.5000000      1.0
## Comisiones   0.2000000 0.2500000      0.2500000 0.3333333      0.5
##           Liquidez Comisiones
## Retorno        4.00          5
## Riesgo         6.00          4
## Diversificación 3.00          4
## Horizonte      2.00          3
## Dedicación     1.00          2
## Liquidez       1.00          4
## Comisiones     0.25          1
##
## $mediasgeometricas
##           Retorno     Riesgo Diversificación     Horizonte     Dedicación
##            3.5567022 2.3183877 1.3459002 0.7626034 0.5805328
##           Liquidez Comisiones
##            0.5993370 0.3395916
##
## $sumamediasgeometricas
## [1] 9.503055
##
## $valoraciones.ahp
##           Retorno     Riesgo Diversificación     Horizonte     Dedicación
##            0.37426935 0.24396236 0.14162816 0.08024824 0.06108907
##           Liquidez Comisiones
##            0.06306782 0.03573500
##
## $valoraciones.ahp.ordenadas
##           Retorno     Riesgo Diversificación     Horizonte     Liquidez
##            0.37426935 0.24396236 0.14162816 0.08024824 0.06306782
##           Dedicación Comisiones
##            0.06108907 0.03573500
##
## $tabularesumen
##           Retorno     Riesgo Diversificación Horizonte Dedicación
## Retorno      1.0000000 4.0000000      3.0000000 5.0000000      6.0
## Riesgo       0.2500000 1.0000000      3.0000000 4.0000000      5.0
## Diversificación 0.3333333 0.3333333      1.0000000 2.0000000      3.0
## Horizonte    0.2000000 0.2500000      0.5000000 1.0000000      1.0
## Dedicación   0.1666667 0.2000000      0.3333333 1.0000000      1.0
```

```

## Liquidez      0.2500000 0.1666667      0.3333333 0.5000000      1.0
## Comisiones   0.2000000 0.2500000      0.2500000 0.3333333      0.5
##               NA       NA           NA       NA       NA
##               Liquidez Comisiones    mgeoms prioridades.relativas
## Retorno        4.00          5 3.5567022      0.37426935
## Riesgo         6.00          4 2.3183877      0.24396236
## Diversificación 3.00          4 1.3459002      0.14162816
## Horizonte     2.00          3 0.7626034      0.08024824
## Dedicación    1.00          2 0.5805328      0.06108907
## Liquidez      1.00          4 0.5993370      0.06306782
## Comisiones    0.25          1 0.3395916      0.03573500
##               NA       NA           NA       NA       NA

```

2.3.2 Método básico

```
basico_criterios = multicriterio.metodoAHP.variante3.basico(Matriz_criterios)
basico_criterios
```

```

## $Xmat
##               Retorno     Riesgo Diversificación Horizonte Dedicación
## Retorno      1.0000000 4.0000000      3.0000000 5.0000000      6.0
## Riesgo       0.2500000 1.0000000      3.0000000 4.0000000      5.0
## Diversificación 0.3333333 0.3333333      1.0000000 2.0000000      3.0
## Horizonte    0.2000000 0.2500000      0.5000000 1.0000000      1.0
## Dedicación   0.1666667 0.2000000      0.3333333 1.0000000      1.0
## Liquidez     0.2500000 0.1666667      0.3333333 0.5000000      1.0
## Comisiones   0.2000000 0.2500000      0.2500000 0.3333333      0.5
##               Liquidez Comisiones
## Retorno        4.00          5
## Riesgo         6.00          4
## Diversificación 3.00          4
## Horizonte     2.00          3
## Dedicación    1.00          2
## Liquidez      1.00          4
## Comisiones    0.25          1
##
## $sumacolumnas
##               Retorno     Riesgo Diversificación     Horizonte     Dedicación
##               2.400000 6.200000 8.416667 13.833333 17.500000
##               Liquidez Comisiones
##               17.250000 23.000000
##
## $Xmat.normalizada
##               Retorno     Riesgo Diversificación     Horizonte     Dedicación
## Retorno      0.41666667 0.64516129 0.35643564 0.36144578 0.34285714
## Riesgo       0.10416667 0.16129032 0.35643564 0.28915663 0.28571429
## Diversificación 0.13888889 0.05376344 0.11881188 0.14457831 0.17142857
## Horizonte    0.08333333 0.04032258 0.05940594 0.07228916 0.05714286
## Dedicación   0.06944444 0.03225806 0.03960396 0.07228916 0.05714286
## Liquidez     0.10416667 0.02688172 0.03960396 0.03614458 0.05714286
## Comisiones   0.08333333 0.04032258 0.02970297 0.02409639 0.02857143
##               Liquidez Comisiones

```

```

## Retorno      0.23188406 0.21739130
## Riesgo       0.34782609 0.17391304
## Diversificación 0.17391304 0.17391304
## Horizonte    0.11594203 0.13043478
## Dedicación   0.05797101 0.08695652
## Liquidez     0.05797101 0.17391304
## Comisiones   0.01449275 0.04347826
##
## $valoraciones.ahp
##           Retorno      Riesgo Diversificación      Horizonte      Dedicación
## 0.36740598 0.24550038 0.13932817 0.07983867 0.05938086
##           Liquidez     Comisiones
## 0.07083198 0.03771396
##
## $valoraciones.ahp.ordenadas
##           Retorno      Riesgo Diversificación      Horizonte      Liquidez
## 0.36740598 0.24550038 0.13932817 0.07983867 0.07083198
##           Dedicación   Comisiones
## 0.05938086 0.03771396
##
## $tabularesumen
##           Retorno      Riesgo Diversificación      Horizonte      Dedicación
## Retorno    1.0000000 4.0000000 3.0000000 5.0000000 6.0
## Riesgo     0.2500000 1.0000000 3.0000000 4.0000000 5.0
## Diversificación 0.3333333 0.3333333 1.0000000 2.0000000 3.0
## Horizonte   0.2000000 0.2500000 0.5000000 1.0000000 1.0
## Dedicación  0.1666667 0.2000000 0.3333333 1.0000000 1.0
## Liquidez    0.2500000 0.1666667 0.3333333 0.5000000 1.0
## Comisiones   0.2000000 0.2500000 0.2500000 0.3333333 0.5
##           2.4000000 6.2000000 8.4166667 13.8333333 17.5
##           Liquidez     Comisiones      Retorno      Riesgo Diversificación
## Retorno    4.00        5 0.41666667 0.64516129 0.35643564
## Riesgo     6.00        4 0.10416667 0.16129032 0.35643564
## Diversificación 3.00        4 0.13888889 0.05376344 0.11881188
## Horizonte   2.00        3 0.08333333 0.04032258 0.05940594
## Dedicación  1.00        2 0.06944444 0.03225806 0.03960396
## Liquidez    1.00        4 0.10416667 0.02688172 0.03960396
## Comisiones   0.25        1 0.08333333 0.04032258 0.02970297
##           17.25        23 NA NA NA
##           Horizonte      Dedicación      Liquidez     Comisiones
## Retorno    0.36144578 0.34285714 0.23188406 0.21739130
## Riesgo     0.28915663 0.28571429 0.34782609 0.17391304
## Diversificación 0.14457831 0.17142857 0.17391304 0.17391304
## Horizonte   0.07228916 0.05714286 0.11594203 0.13043478
## Dedicación  0.07228916 0.05714286 0.05797101 0.08695652
## Liquidez    0.03614458 0.05714286 0.05797101 0.17391304
## Comisiones   0.02409639 0.02857143 0.01449275 0.04347826
##           NA NA NA NA
##           prioridades.relativas
## Retorno      0.36740598
## Riesgo       0.24550038
## Diversificación 0.13932817
## Horizonte    0.07983867
## Dedicación   0.05938086

```

```
## Liquidez          0.07083198
## Comisiones        0.03771396
##                           NA
```

2.3.3 Método 2

```
num.alt = 5
num.cri = 7
Matrices_alt = array(NA, dim = c(num.alt, num.alt, num.cri))
Matrices_alt[, , 1] = tabla_Retorno
Matrices_alt[, , 2] = tabla_Riesgo
Matrices_alt[, , 3] = tabla_Diversificacion
Matrices_alt[, , 4] = tabla_Horizonte
Matrices_alt[, , 5] = tabla_Dedicacion
Matrices_alt[, , 6] = tabla_Liquidez
Matrices_alt[, , 7] = tabla_Comisiones

prioridades_basico_global = multicriterio.metodoAHP.variante3.completo(
  Matriz_criterios,
  Matrices_alt
)

prioridades_basico_global$pesos.globales_entabla
```

	Retorno	Riesgo	Diversificación	Horizonte	Dedicación
##	0.28691498	0.20557276	0.29187159	0.26977687	0.21990471
##	0.28645172	0.12116353	0.55123471	0.11467462	0.13910306
##	0.33461302	0.58152232	0.04320324	0.50548438	0.56022487
##	0.06581697	0.04013409	0.04320324	0.06299169	0.05077222
##	0.02620332	0.05160731	0.07048721	0.04707243	0.02999515
## Ponder.Criterios	0.36740598	0.24550038	0.13932817	0.07983867	0.05938086
##	Liquidez	Comisiones	Ponderadores	Globales	
##	0.25925735	0.11582987		0.25387728	
##	0.15295347	0.11582987		0.24441022	
##	0.49277806	0.62341319		0.40376186	
##	0.06874072	0.11582987		0.05733542	
##	0.02627040	0.02909719		0.04061522	
## Ponder.Criterios	0.07083198	0.03771396		NA	

En general, la mejor decisión es Bitcoin con un 40.38%, pese a su elevado riesgo, seguido de las acciones tech y el S&P 500, aunque no muy de cerca y bastante alejado del oro y los bonos del estado, coincidiendo con el método principal.

2.4 Diagrama Jerárquico

```
nombre_alternativas = c("A1", "A2", "A3", "A4", "A5")
n.criterios = c(
  "C.1.1 Retorno Esperado",
  "C.1.2 Riesgo",
  "C.1.3 Diversificación",
  "C.2.1 Horizonte Temporal",
  "C.2.2 Dedicación",
  "C.3.1 Liquidez",
  "C.3.2 Comisiones"
```

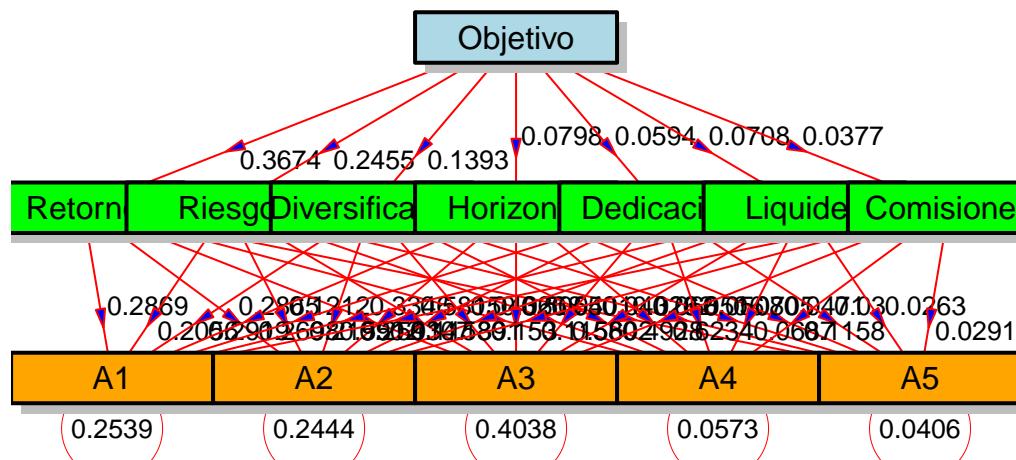
```

)
Matrices_alt = array(NA, dim = c(num.alt, num.alt, num.cri))
Matrices_alt[, , 1] = tabla_Retorno
Matrices_alt[, , 2] = tabla_Riesgo
Matrices_alt[, , 3] = tabla_Diversificacion
Matrices_alt[, , 4] = tabla_Horizonte
Matrices_alt[, , 5] = tabla_Dedicacion
Matrices_alt[, , 6] = tabla_Liquidez
Matrices_alt[, , 7] = tabla_Comisiones
dimnames(Matrices_alt)[[1]] = nombre_alternativas
dimnames(Matrices_alt)[[2]] = nombre_alternativas
dimnames(Matrices_alt)[[3]] = n.criterios

multicriterio.metodoahp.diagrama(Matriz_criterios, Matrices_alt)

```

Estructura Jerárquica (AHP)



3 Método AHP con el paquete de R

```

datos = ahp::Load("Inversion.ahp")

#Paso 2. Calcular las prioridades
Calculate(datos)
print(datos, priority = function(x) x$parent$priority["Total", x$name])

```

```

##                                         levelName    priority
## 1   Elegir la mejor alternativa de inversión          NA
## 2   |--Rentabilidad                         0.62501307
## 3   |   |--Retorno Esperado                 0.52783613
## 4   |   |   |--A1 (Acciones Tech)           0.29852963
## 5   |   |   |--A2 (S&P 500 Indexado)        0.14926482

```

```

## 6 |   |   |--A3 (Bitcoin)          0.42177238
## 7 |   |   |--A4 (Oro)            0.08224423
## 8 |   |   °--A5 (Bonos del Tesoro) 0.04818894
## 9 |   |--Riesgo                0.13964794
## 10 |  |   |--A1 (Acciones Tech) 0.11725164
## 11 |  |   |--A2 (S&P 500 Indexado) 0.23752200
## 12 |  |   |--A3 (Bitcoin)        0.04410801
## 13 |  |   |--A4 (Oro)           0.17468035
## 14 |  |   °--A5 (Bonos del Tesoro) 0.42643801
## 15 |   °--Diversificación      0.33251593
## 16 |   |   |--A1 (Acciones Tech) 0.17526656
## 17 |   |   |--A2 (S&P 500 Indexado) 0.45554653
## 18 |   |   |--A3 (Bitcoin)        0.04149117
## 19 |   |   |--A4 (Oro)           0.04149117
## 20 |   |   °--A5 (Bonos del Tesoro) 0.28620456
## 21 |   |--Compromiso            0.13649980
## 22 |   |   |--Horizonte Temporal 0.66666667
## 23 |   |   |   |--A1 (Acciones Tech) 0.21518350
## 24 |   |   |   |--A2 (S&P 500 Indexado) 0.10759175
## 25 |   |   |   |--A3 (Bitcoin)        0.47145535
## 26 |   |   |   |--A4 (Oro)           0.10288470
## 27 |   |   |   °--A5 (Bonos del Tesoro) 0.10288470
## 28 |   °--Dedicación            0.33333333
## 29 |   |   |--A1 (Acciones Tech) 0.08231860
## 30 |   |   |--A2 (S&P 500 Indexado) 0.14955063
## 31 |   |   |--A3 (Bitcoin)        0.03814185
## 32 |   |   |--A4 (Oro)           0.27661402
## 33 |   |   °--A5 (Bonos del Tesoro) 0.45337490
## 34 |   °--Operativa              0.23848712
## 35 |   |   |--Liquidez            0.75000000
## 36 |   |   |   |--A1 (Acciones Tech) 0.33420434
## 37 |   |   |   |--A2 (S&P 500 Indexado) 0.18921615
## 38 |   |   |   |--A3 (Bitcoin)        0.33420434
## 39 |   |   |   |--A4 (Oro)           0.11672206
## 40 |   |   °--A5 (Bonos del Tesoro) 0.02565311
## 41 |   °--Comisiones             0.25000000
## 42 |   |   |--A1 (Acciones Tech) 0.18892319
## 43 |   |   |--A2 (S&P 500 Indexado) 0.18892319
## 44 |   |   |--A3 (Bitcoin)        0.04615595
## 45 |   |   |--A4 (Oro)           0.18892319
## 46 |   |   °--A5 (Bonos del Tesoro) 0.38707449

```

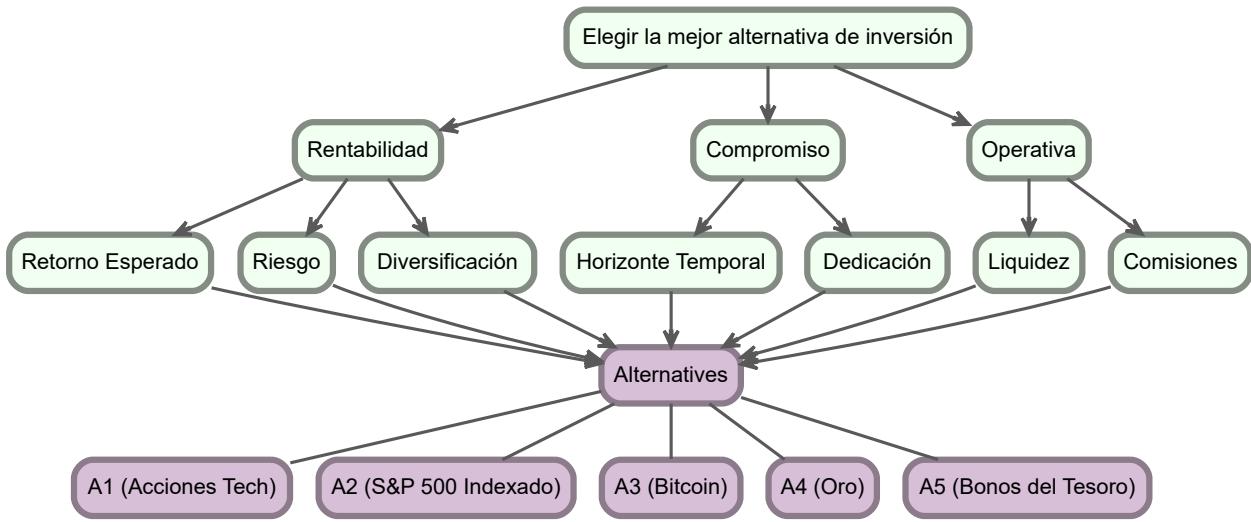
#Paso 3. Visualizar la jerarquía

```
Visualize(datos)
```

```

## PhantomJS not found. You can install it with webshot::install_phantomjs(). If it is installed, please
## file:///C:/Users/delga/AppData/Local/Temp/Rtmpq9S85/file56a0471951ec/widget56a01af11055.html screen

```



#Paso 4. Analizar

```
Analyze(datos, variable = "priority", sort="orig")
```

```

##                                         Priority A1 (Acciones Tech)
## 1 Elegir la mejor alternativa de inversión 100.0%           NA
## 2   |--Rentabilidad                      62.5%           NA
## 3     |--Retorno Esperado                52.8%          29.9%
## 4     |--Riesgo                         14.0%          11.7%
## 5     °--Diversificación                33.3%          17.5%
## 6   |--Compromiso                       13.6%           NA
## 7     |--Horizonte Temporal              66.7%          21.5%
## 8     °--Dedicación                     33.3%          8.2%
## 9   °--Operativa                        23.8%           NA
## 10    |--Liquidez                       75.0%          33.4%
## 11    °--Comisiones                     25.0%          18.9%
##                                         A2 (S&P 500 Indexado) A3 (Bitcoin) A4 (Oro) A5 (Bonos del Tesoro)
## 1                               NA        NA        NA           NA
## 2                               NA        NA        NA           NA
## 3                               14.9%     42.2%     8.2%        4.8%
## 4                               23.8%     4.4%      17.5%       42.6%
## 5                               45.6%     4.1%      4.1%       28.6%
## 6                               NA        NA        NA           NA
## 7                               10.8%     47.1%     10.3%      10.3%
## 8                               15.0%     3.8%      27.7%      45.3%
## 9                               NA        NA        NA           NA
## 10                             18.9%     33.4%     11.7%      2.6%
## 11                             18.9%     4.6%      18.9%      38.7%
## Inconsistency
## 1      1.7%
## 2      5.1%
## 3      0.3%
## 4      2.2%
## 5      1.1%
## 6      0.0%
## 7      0.2%
## 8      1.3%

```

```

## 9          0.0%
## 10         5.0%
## 11         0.0%

```

#Paso 4b. alternativo
`Analyze(datos)`

```

##
## 1 Elegir la mejor alternativa de inversión 100.0%      25.9%
## 2   |--Rentabilidad                      62.5%      15.2%
## 3   |   |--Retorno Esperado            33.0%      13.9%
## 4   |   |--Diversificación           20.8%       0.9%
## 5   |   |   |--Riesgo                  8.7%       0.4%
## 6   |   |--Operativa                 23.8%      6.3%
## 7   |   |   |--Liquidez                17.9%      6.0%
## 8   |   |   |--Comisiones              6.0%       0.3%
## 9   |   |   |--Compromiso               13.6%      4.5%
## 10  |   |--Horizonte Temporal        9.1%       4.3%
## 11  |   |   |--Dedicación             4.5%       0.2%
##     A1 (Acciones Tech) A2 (S&P 500 Indexado) A5 (Bonos del Tesoro) A4 (Oro)
## 1          24.0%          22.6%          17.0%      10.5%
## 2          14.5%          16.5%          11.3%      5.1%
## 3          9.8%           4.9%           1.6%       2.7%
## 4          3.6%           9.5%           5.9%       0.9%
## 5          1.0%           2.1%           3.7%       1.5%
## 6          7.1%           4.5%           2.8%       3.2%
## 7          6.0%           3.4%           0.5%       2.1%
## 8          1.1%           1.1%           2.3%       1.1%
## 9          2.3%           1.7%           3.0%       2.2%
## 10         2.0%           1.0%           0.9%       0.9%
## 11         0.4%           0.7%           2.1%       1.3%
##     Inconsistency
## 1          1.7%
## 2          5.1%
## 3          0.3%
## 4          1.1%
## 5          2.2%
## 6          0.0%
## 7          5.0%
## 8          0.0%
## 9          0.0%
## 10         0.2%
## 11         1.3%

```

#Paso 5. Tabla global
`ahp_global = AnalyzeTable(datos)`
`#formattable::as.htmlwidget(ahp_global)`

#Paso 5b. Tabla pesos locales
`ahp_subcriterios = AnalyzeTable(datos, variable = "priority", sort = "orig")`
`#formattable::as.htmlwidget(ahp_subcriterios)`

#Para poder ver bien la tabla

```

$htmlwidgets::saveWidget(formattable::as.htmlwidget(ahp_subcriterios), "analisis_ahp.html")
#browseURL("analisis_ahp.html")

$htmlwidgets::saveWidget(formattable::as.htmlwidget(ahp_global), "analisis_ahp.html")
#browseURL("analisis_ahp.html")

```

Los resultados del AHP muestran una jerarquía de preferencias consistente con los valores reales de rentabilidad, riesgo y el resto de criterios. Bitcoin (A3) destaca en Retorno Esperado, pero su elevado riesgo y baja diversificación reducen su peso global. Las Acciones tecnológicas (A1) y el fondo indexado (A2) logran un equilibrio más favorable entre rentabilidad, diversificación y liquidez, posicionándose como las opciones más atractivas. Por su parte, los Bonos del Tesoro (A5) sobresalen en seguridad y baja dedicación, pero su bajo rendimiento limita su atractivo general.

La inconsistencia de los juicios se mantiene por debajo del 10 % en todos los criterios, indicando una coherencia aceptable en las comparaciones. En conjunto, el modelo refleja adecuadamente el compromiso entre riesgo y rentabilidad, sugiriendo que una inversión diversificada entre activos de tipo A1 y A2 sería la alternativa más equilibrada.

3.1 Cálculo de los resultados del paquete AHP con otras funciones

3.1.1 1. Cálculo de los pesos de los criterios principales

```

n.criterios = c("Rentabilidad", "Compromiso", "Operativa")

tn1 = multicriterio.crea.matrizvaloraciones_mej(c(4, 3, 0.5), 3, n.criterios)
stn1 = multicriterio.metodoAHP.variente1.autovectormayorautovalor(tn1)
vpn1 = stn1$valoraciones.ahp

# vpn1 contiene los 3 pesos principales
print(vpn1)

```

```

## Rentabilidad    Compromiso      Operativa
##      0.6250131     0.1364998     0.2384871

```

3.1.2 2. Cálculo de los pesos de los subcriterios

```

# 2a. BAJO "RENTABILIDAD" (3 subcriterios)
n.subcrit1 = c("Retorno Esperado", "Riesgo", "Diversificación")

tn_rent = multicriterio.crea.matrizvaloraciones_mej(c(3, 2, 1/3), 3, n.subcrit1)
stn_rent = multicriterio.metodoAHP.variente1.autovectormayorautovalor(tn_rent)
vpn_rent = stn_rent$valoraciones.ahp

# 2b. BAJO "COMPROMISO" (2 subcriterios)
n.subcrit2 = c("Horizonte Temporal", "Dedicación")

tn_comp = multicriterio.crea.matrizvaloraciones_mej(c(2), 2, n.subcrit2)
stn_comp = multicriterio.metodoAHP.variente1.autovectormayorautovalor(tn_comp)
vpn_comp = stn_comp$valoraciones.ahp

```

```

# 2c. BAJO "OPERATIVA" (2 subcriterios)

n.subcrit3 = c("Liquidez", "Comisiones")

tn_op = multicriterio.crea.matrizvaloraciones_mej(c(3), 2, n.subcrit3)
stn_op = multicriterio.metodoAHP.variente1.autovectormayorautovalor(tn_op)
vpn_op = stn_op$valoraciones.ahp

print(vpn_rent)

## Retorno Esperado           Riesgo   Diversificación
##          0.5278361        0.1396479        0.3325159

print(vpn_comp)

## Horizonte Temporal       Dedicación
##          0.6666667        0.3333333

print(vpn_op)

## Liquidez Comisiones
##          0.75        0.25

```

3.1.3 3. CÁLCULO PESOS GLOBALES

```

# Pesos de Rentabilidad (Padre * Hijos)
c11 = vpn1[1] * vpn_rent[1] # Peso(Rentabilidad) * Peso(Retorno Esperado)
c12 = vpn1[1] * vpn_rent[2] # Peso(Rentabilidad) * Peso(Riesgo)
c13 = vpn1[1] * vpn_rent[3] # Peso(Rentabilidad) * Peso(Diversificación)

# Pesos de Compromiso
c21 = vpn1[2] * vpn_comp[1] # Peso(Compromiso) * Peso(Horizonte Temporal)
c22 = vpn1[2] * vpn_comp[2] # Peso(Compromiso) * Peso(Dedicación)

# Pesos de Operativa
c31 = vpn1[3] * vpn_op[1] # Peso(Operativa) * Peso(Liquidez)
c32 = vpn1[3] * vpn_op[2] # Peso(Operativa) * Peso(Comisiones)

# Vector final de pesos globales (7 subcriterios)
crisub_inversion = c(c11, c12, c13, c21, c22, c31, c32)

names(crisub_inversion) = c("Retorno_Esperado",
                           "Riesgo",
                           "Diversificacion",
                           "Horizonte_Temporal",
                           "Dedicacion",
                           "Liquidez",
                           "Comisiones")

print(crisub_inversion)

```

```
##    Retorno_Esperado          Riesgo      Diversificacion Horizonte_Temporal
##    0.32990448                0.08728179   0.20782680            0.09099987
##    Dedicacion                 Liquidez    Comisiones
##    0.04549993                0.17886534   0.05962178
```

3.2 Tabla solución

```
knitr::include_graphics("ahp_subcriterios.png")
```



1. Conclusiones de la Tabla de Pesos Locales (Diagnóstico del Modelo) Esta tabla desglosa las preferencias internas del modelo, permitiendo ver la coherencia de las decisiones.

Criterios principales (Nivel 1): El criterio fundamental es la “Rentabilidad” (62.5%), que tiene casi tres veces más peso que la “Operativa” (23.8%) y más de cuatro veces el peso del “Compromiso” (13.6%). El perfil del inversor es uno enfocado primordialmente en el rendimiento.

Desglose de “Rentabilidad”: el modelo prioriza fuertemente el “Retorno Esperado” (52.8%) sobre la “Diversificación” (33.3%) y el “Riesgo” (14.0%). Confirma una alta tolerancia al riesgo a cambio de mayores ganancias potenciales.

Identificación de “Especialistas”: Esta vista es clave para entender el rol de cada alternativa:

A3 (Bitcoin) es el “especialista en Retorno”, dominando esa fila (42.2%).

A5 (Bonos del Tesoro) es el “especialista en Seguridad”, ganando en “Riesgo” (42.6%) y “Dedicación” (45.3%).

A2 (S&P 500) es el “especialista en Diversificación” (45.6%).

En resumen, esta tabla valida que las comparaciones locales sean lógicas antes de calcular el resultado global, lo cual se mide con la inconsistencia, que al ser menor que un 5% como máximo aseguramos que sea relativamente coherente.

```
knitr::include_graphics("ahp_global.png")
```



2. Conclusiones de la Tabla de Pesos Globales Sintetiza todas las preferencias en un resultado final,

mostrando el peso global (columna “Weight”) de cada criterio y subcriterio, junto al ranking definitivo de las alternativas.

Ranking Final y Alternativa Ganadora: El modelo identifica a A3 (Bitcoin) como la mejor alternativa de inversión con un peso global del 25.9%, pero seguidamente muy de cerca por las acciones tech y del S&P 500.

Bitcoin (A3) gana debido a los pesos anteriormente mencionados. El rendimiento está muy bien valorado, mientras que el riesgo no tanto, los dos subcriterios en los destaca Bitcoin tanto para bien como para mal, al igual que le pasa con el resto de subcriterios.

Aunque los bonos del Tesoro (A5) dominaba localmente en “Riesgo”, este subcriterio solo representa un peso global del 8.7%.

Las Acciones Tech (A1) y el S&P 500 (A2) se posicionan como las opciones más equilibradas, obteniendo puntuaciones robustas en múltiples áreas. El S&P 500 (A2) destaca por aportar el mayor peso global en “Diversificación” (9.5%), mientras que A1 (Tech) muestra un buen balance entre “Retorno” (9.8%) y “Operativa” (7.1%).

4 Método ELECTRE

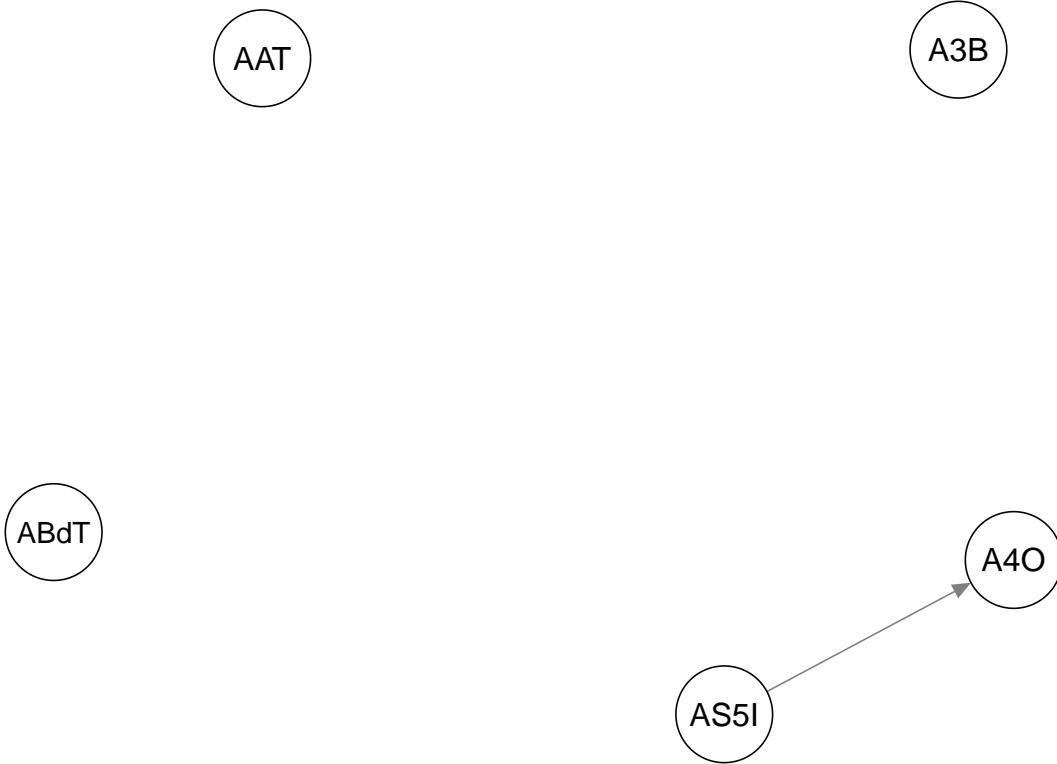
La aplicación del método ELECTRE-I se realiza utilizando la matriz de decisión de alternativas de inversión y los parámetros definidos para construir las matrices de concordancia y discordancia, con el objetivo de establecer una relación de sobreclasificación entre las alternativas de inversión. Uso los mismos pesos que en AHP para poder compararlos.

En este modelo ELECTRE, se establece que diferencias superiores al 8 % en retorno o al 10 % en riesgo no pueden compensarse con ventajas en otros criterios, asegurando que una alternativa excesivamente menos rentable o más volátil nunca resulte preferida. El resto si son compensables.

```
pesos = prioridad_criterios$valoraciones.ahp

salida = multicriterio.metodoELECTRE_I(
  matriz_decision,
  pesos.criterios = pesos,
  nivel.concordancia.minimo.alpha = .75,
  no.se.compensan = c(8, 10, Inf, Inf, Inf, Inf, Inf),
  que.alternativas = TRUE
)

qgraph::qgraph(salida$relacion.dominante)
```



salida\$nucleo_aprox

```

##      A1: Acciones Tech A2: S&P 500 Indexado          A3: Bitcoin
##                      1                           2                   3
## A5: Bonos del Tesoro
##                      5

```

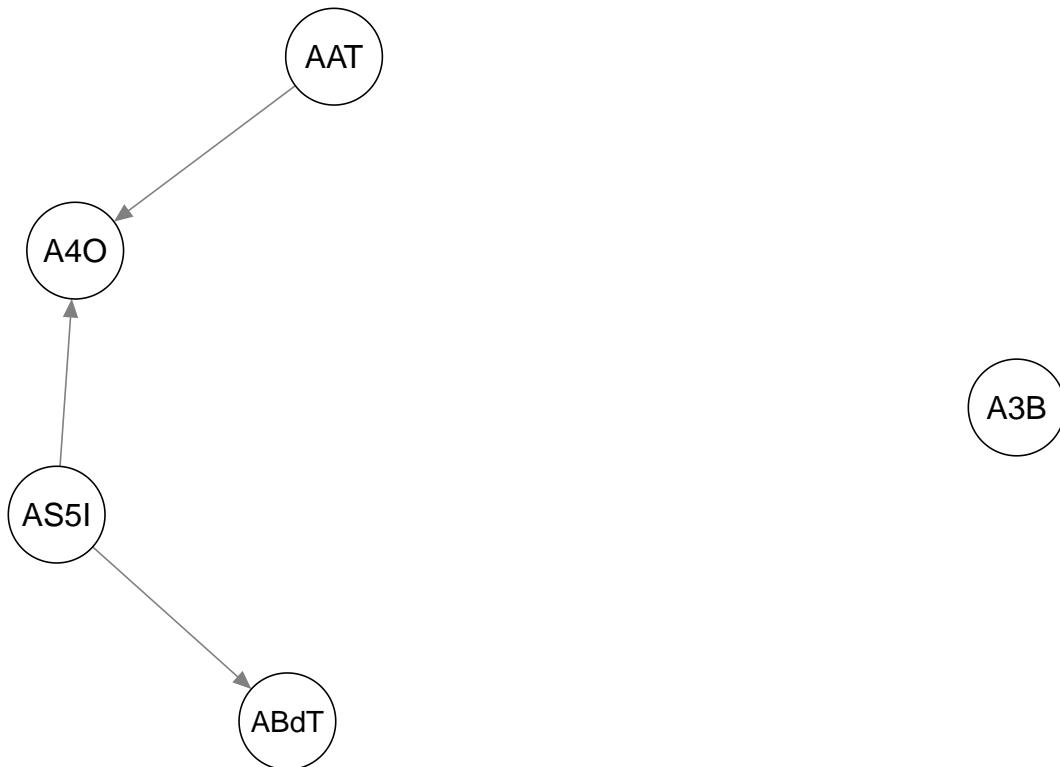
Todas las alternativas superan a los bonos del estado, pero no son superadas entre sí por ninguna, para un alfa igual a 0,75. Pruebo a cambiar el alfa y reducir el grafo a las alternativas en el núcleo.

```

salida_2 = multicriterio.metodoELECTRE_I(
  matriz_decision,
  pesos.criterios = pesos,
  nivel.concordancia.minimo.alpha = .6,
  no.se.compensan = c(8, 10, Inf, Inf, Inf, Inf, Inf),
  que.alternativas = TRUE
)

qgraph::qgraph(salida_2$relacion.dominante)

```



salida_2\$nucleo_aprox

```
##      A1: Acciones Tech A2: S&P 500 Indexado          A3: Bitcoin
##           1                  2                      3
```

Consigo reducir las opciones a acciones tech (A1), S&P 500 (A2) y a Bitcoin (A3), pruebo a cambiar los alfas para ver si consigo un solo criterio

```
salida_3 = multicriterio.metodoELECTRE_I(
  matriz_decision,
  pesos.criterios = pesos,
  nivel.concordancia.minimo.alpha = .6,
  no.se.compensan = c(8, 10, Inf, Inf, Inf, Inf, Inf),
  que.alternativas = c(1,3)
)

qgraph::qgraph(salida_3$relacion.dominante)
```

AAT

A3B

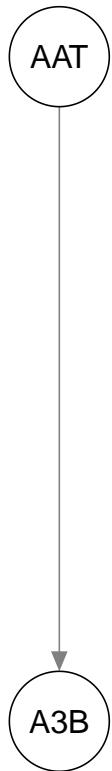
```
salida_3$nucleo_aprox
```

```
## A1: Acciones Tech      A3: Bitcoin
##           1             2
```

Pruebo con varios alfas hasta encontrar un único núcleo, en este caso: reduzco las opciones a Bitcoin y acciones tech. Reduzco el alfa a 0.5 para intentar desempatar.

```
salida_4 = multicriterio.metodoELECTRE_I(
  matriz_decision,
  pesos.criterios = pesos,
  nivel.concordancia.minimo.alpha = .5,
  no.se.compensan = c(8, 10, Inf, Inf, Inf, Inf, Inf),
  que.alternativas = c(1,3)
)

qgraph::qgraph(salida_4$relacion.dominante)
```



```
salida_4$nucleo_aprox
```

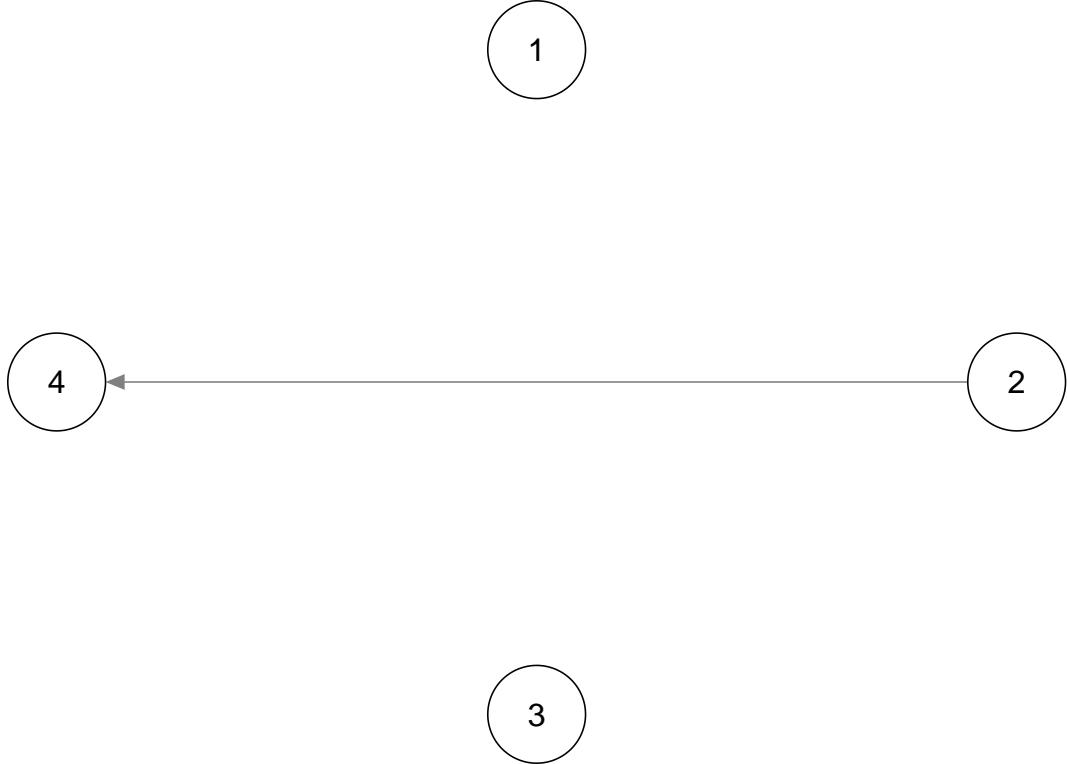
```
## A1: Acciones Tech  
## 1
```

Finalmente me quedo con una única opción, la primera alternativa (Acciones tech). Pese a usar los mismos pesos que en AHP, el método electre me da otra alternativa que en el anterior método (Bitcoin).

```
r = func_ELECTRE_Completo(salida)  
r$Grafo
```

```
## De A  
## 1 2 4
```

```
qgraph::qgraph(r$Grafo)
```



r\$Nucleo

```
##      A1: Acciones Tech A2: S&P 500 Indexado          A3: Bitcoin
##                  1                      2                  3
## A5: Bonos del Tesoro
##                  5
```

5 PROMETHEE I

Criterio	Peso (W_i)	Optimización	Tipo de Función	q_i	p_i	s_i
C1.1: Retorno Esperado	0.30	Maximizar	Pref. Lineal (III)	1	5	N/A
C1.2: Riesgo	0.20	Minimizar	Usual (I)	N/A	N/A	N/A
C1.3: Diversificación	0.10	Maximizar	Cuasi-Criterio (II)	2	N/A	N/A
C2.1: Horizonte Temporal	0.10	Minimizar	Nivel (IV)	3	8	N/A
C2.2: Dedicación	0.05	Minimizar	Indif. Lineal (V)	2	6	N/A
C3.1: Liquidez	0.15	Maximizar	Gaussiano (VI)	N/A	N/A	1.5
C3.2: Comisiones	0.10	Minimizar	Pref. Lineal (III)	0.5	1.5	N/A

5.1 Justificaciones:

C1.1 Retorno Esperado: Función lineal (III), ya que pequeñas diferencias de rentabilidad importan; $q=1\%$, $p=5\%$.

C1.2 Riesgo: Función usual (I), pues cualquier aumento de volatilidad se considera negativo.

C1.3 Diversificación: Cuasi-criterio (II) con $q=2$, dado que solo diferencias notables en diversificación son relevantes.

C2.1 Horizonte Temporal: Nivel (IV), con q=3 y p=8 años; pequeños cambios no pesan, pero horizontes amplios sí.

C2.2 Dedicación: Indif. lineal (V), con q=2 y p=6 h/semana, reflejando cierta tolerancia al esfuerzo adicional.

C3.1 Liquidez: Gaussiana (VI) con s=1.5, ya que la preferencia crece suavemente con la liquidez.

C3.2 Comisiones: Pref. lineal (III), con q=0.5% y p=1.5%, penalizando de forma progresiva los costes más altos.

```
preferencias_prom = matrix(c(
  3, 1, 5, 0,          # C1.1 Retorno Esperado (%)
  2, 10, 30, 0,        # C1.2 Riesgo (%)
  2, 2, 0, 0,          # C1.3 Diversificación
  4, 3, 8, 0,          # C2.1 Horizonte Temporal (años)
  5, 2, 6, 0,          # C2.2 Dedicación (h/semana)
  6, 0, 0, 1.5,        # C3.1 Liquidez (escala 1-10)
  3, 0.5, 1.5, 0       # C3.2 Comisiones (%)
), nrow=7, byrow=TRUE)
```

```
Promethee_I = multicriterio.metodo.promethee_i(matriz_decision, pesos, preferencias_prom)
Promethee_I
```

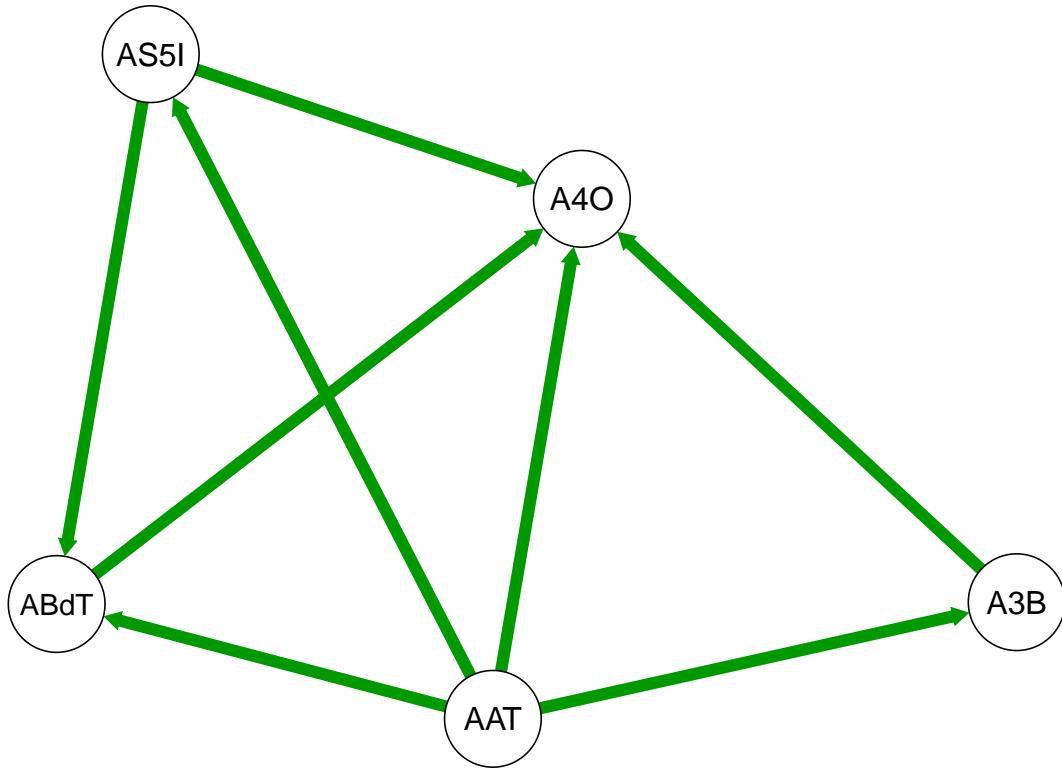
```
## $tabla.indices
##                                     A1: Acciones Tech A2: S&P 500 Indexado A3: Bitcoin
## A1: Acciones Tech           0.00000000      0.42500975  0.4297969
## A2: S&P 500 Indexado      0.14704419      0.00000000  0.4722565
## A3: Bitcoin                 0.38704392      0.46312433  0.0000000
## A4: Oro                      0.02830643      0.00000000  0.3393655
## A5: Bonos del Tesoro        0.30068304      0.01226464  0.4722565
##                                     A4: Oro A5: Bonos del Tesoro
## A1: Acciones Tech     0.6206783      0.4896289
## A2: S&P 500 Indexado  0.4804919      0.4515143
## A3: Bitcoin            0.5259019      0.5277435
## A4: Oro                 0.0000000      0.2192663
## A5: Bonos del Tesoro   0.1451556      0.0000000
##
## $vflujos.ent
##           A1: Acciones Tech A2: S&P 500 Indexado           A3: Bitcoin
##           1.9651138      1.5513069           1.9038136
##           A4: Oro A5: Bonos del Tesoro
##           0.5869383      0.9303598
##
## $vflujos.sal
##           A1: Acciones Tech A2: S&P 500 Indexado           A3: Bitcoin
##           0.8630776      0.9003987           1.7136754
##           A4: Oro A5: Bonos del Tesoro
##           1.7722277      1.6881530
##
## $tablarelacionsuper
##           A1: Acciones Tech A2: S&P 500 Indexado A3: Bitcoin A4: Oro
## A1: Acciones Tech           0.5                  1.0      1.0      1.0
## A2: S&P 500 Indexado       0.0                  0.5      0.0      1.0
## A3: Bitcoin                 0.0                  0.0      0.5      1.0
## A4: Oro                     0.0                  0.0      0.0      0.5
```

```

## A5: Bonos del Tesoro          0.0
##                               A5: Bonos del Tesoro
## A1: Acciones Tech             1.0
## A2: S&P 500 Indexado          1.0
## A3: Bitcoin                   0.0
## A4: Oro                        0.0
## A5: Bonos del Tesoro          0.5

```

```
qgraph::qgraph(Promethee_I$tablarelacionsuper)
```



A1 (Acciones Tech) → Presenta flechas salientes hacia todas las demás alternativas (A2, A3, A4 y A5). → Es la alternativa fuertemente dominante, reflejando su alto retorno y gran liquidez, pese a su riesgo moderado.

A2 (S&P 500 Indexado) → Supera a Oro (A4) y Bonos del Tesoro (A5), pero es superada por Acciones Tech (A1). → Alternativa sólida y equilibrada, con buen retorno y diversificación, aunque sin destacar en liquidez ni riesgo.

A3 (Bitcoin) → Solo supera a Oro (A4), y es dominada por las demás. → Rentabilidad muy alta, pero su riesgo extremo limita su posición global.

A4 (Oro) → No supera a ninguna alternativa. → Refugio estable pero poco rentable, afectado por baja diversificación y retorno.

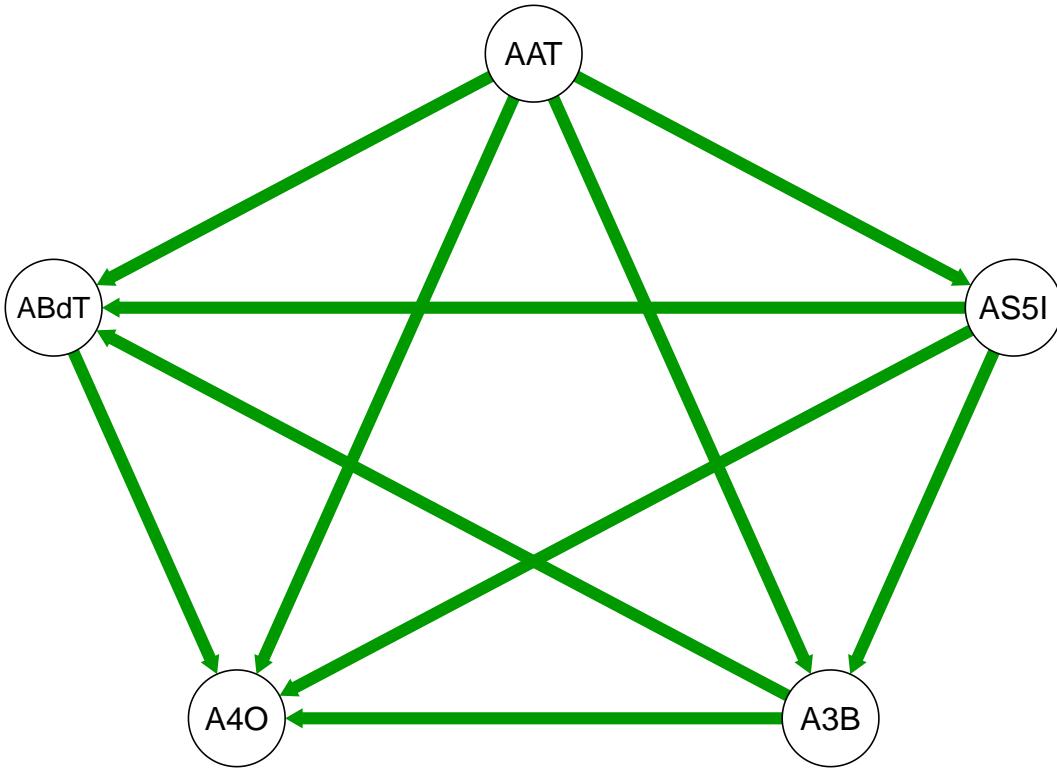
A5 (Bonos del Tesoro) → Solo supera al Oro (A4), pero es superado por casi todas. → Alternativa segura pero de escaso retorno, útil solo para perfiles muy conservadores.

6 PROMETHEE II

```
Promethee_II = multicriterio.metodo.promethee_ii(matriz_decision, pesos, preferencias_prom)
Promethee_II
```

```
## $tabla.indices
##          A1: Acciones Tech A2: S&P 500 Indexado A3: Bitcoin
## A1: Acciones Tech      0.00000000   0.42500975   0.4297969
## A2: S&P 500 Indexado  0.14704419   0.00000000   0.4722565
## A3: Bitcoin           0.38704392   0.46312433   0.00000000
## A4: Oro                0.02830643   0.00000000   0.3393655
## A5: Bonos del Tesoro   0.30068304   0.01226464   0.4722565
##
##          A4: Oro A5: Bonos del Tesoro
## A1: Acciones Tech     0.6206783    0.4896289
## A2: S&P 500 Indexado 0.4804919    0.4515143
## A3: Bitcoin           0.5259019    0.5277435
## A4: Oro                0.0000000    0.2192663
## A5: Bonos del Tesoro  0.1451556    0.0000000
##
## $vflujos.netos
##          A1: Acciones Tech A2: S&P 500 Indexado      A3: Bitcoin
##            1.1020362      0.6509082      0.1901382
##          A4: Oro A5: Bonos del Tesoro
##          -1.1852894     -0.7577932
##
## $tablarelacionsuper
##          A1: Acciones Tech A2: S&P 500 Indexado A3: Bitcoin A4: Oro
## A1: Acciones Tech      0.5          1.0          1.0          1.0
## A2: S&P 500 Indexado  0.0          0.5          1.0          1.0
## A3: Bitcoin           0.0          0.0          0.5          1.0
## A4: Oro                0.0          0.0          0.0          0.5
## A5: Bonos del Tesoro   0.0          0.0          0.0          1.0
##
##          A5: Bonos del Tesoro
## A1: Acciones Tech      1.0
## A2: S&P 500 Indexado  1.0
## A3: Bitcoin           1.0
## A4: Oro                0.0
## A5: Bonos del Tesoro   0.5
```

```
qgraph::qgraph(Promethee_II$tablarelacionsuper)
```



A1 (Acciones

Tech) → Supera a todas las alternativas (A2, A3, A4, A5), igual que en Promethee I

A2 (S&P 500 Indexado) → Sigue superando al Oro y Bonos del Tesoro, pero ahora también a Bitcoin.

El resto de alternativas no refleja ningún cambio respecto a Promethee I.

Se obtienen los siguientes flujos netos y ordenacion:

```
Promethee_II$vflujos.netos
```

```
##      A1: Acciones Tech A2: S&P 500 Indexado          A3: Bitcoin
##            1.1020362           0.6509082            0.1901382
##      A4: Oro A5: Bonos del Tesoro
##         -1.1852894          -0.7577932
```

```
order(Promethee_II$vflujos.netos, decreasing = TRUE)
```

```
## [1] 1 2 3 5 4
```

Orden resultante de los flujos netos: A1 (Tech) > A2 (S&P 500) > A3 (Bitcoin) > A5 (Bonos) > A4 (Oro), siendo las acciones tech el primero, coincidiendo con los resultados del metodo electre

6.1 PROMETHEE II (medias)

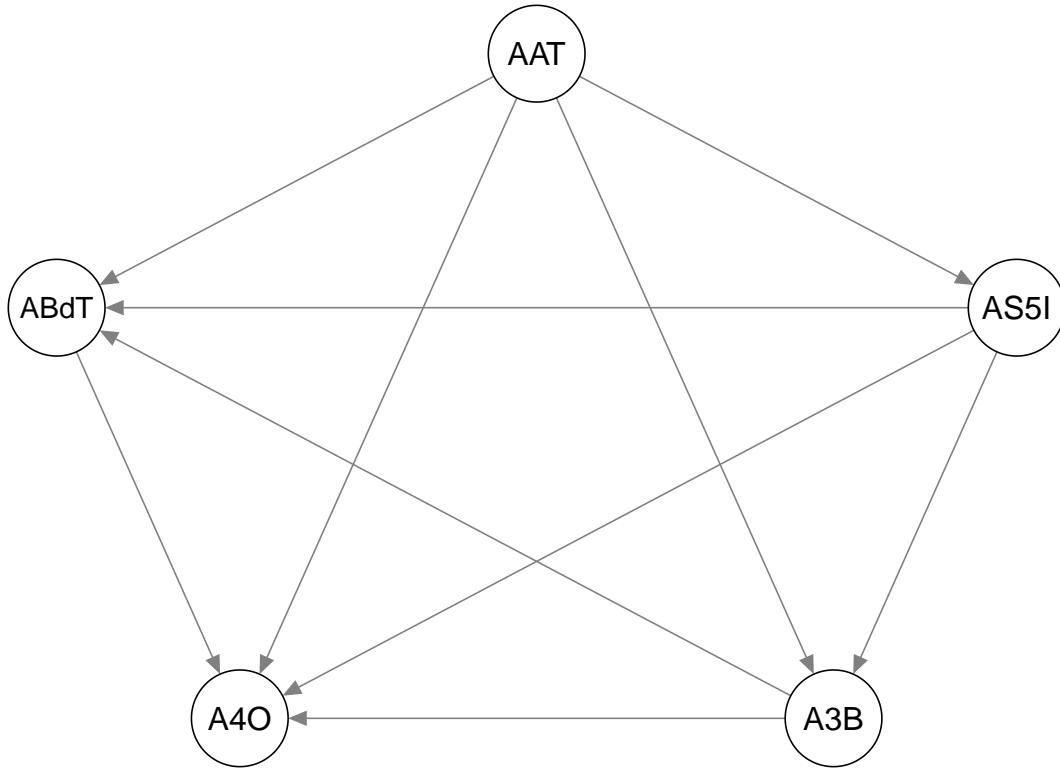
```
Promethee_II_mean = multicriterio.metodo.promethee_ii_med(matriz_decision, pesos, preferencias_prom)
Promethee_II_mean
```

```

## $tabla.indices
##          A1: Acciones Tech A2: S&P 500 Indexado A3: Bitcoin
## A1: Acciones Tech      0.00000000  0.42500975  0.4297969
## A2: S&P 500 Indexado  0.14704419  0.00000000  0.4722565
## A3: Bitcoin           0.38704392  0.46312433  0.0000000
## A4: Oro                0.02830643  0.00000000  0.3393655
## A5: Bonos del Tesoro   0.30068304  0.01226464  0.4722565
##
##          A4: Oro A5: Bonos del Tesoro
## A1: Acciones Tech    0.6206783   0.4896289
## A2: S&P 500 Indexado 0.4804919   0.4515143
## A3: Bitcoin           0.5259019   0.5277435
## A4: Oro                0.0000000   0.2192663
## A5: Bonos del Tesoro  0.1451556   0.0000000
##
##          A3: Bitcoin
##          A1: Acciones Tech A2: S&P 500 Indexado
##          0.27550904      0.16272705      0.04753455
##          A4: Oro A5: Bonos del Tesoro
##          -0.29632234     -0.18944830
##
##          $tablarelacionsuper
##          A1: Acciones Tech A2: S&P 500 Indexado A3: Bitcoin A4: Oro
## A1: Acciones Tech      0           1           1           1
## A2: S&P 500 Indexado  0           0           1           1
## A3: Bitcoin            0           0           0           1
## A4: Oro                 0           0           0           0
## A5: Bonos del Tesoro   0           0           0           1
##
##          A5: Bonos del Tesoro
## A1: Acciones Tech      1
## A2: S&P 500 Indexado  1
## A3: Bitcoin            1
## A4: Oro                 0
## A5: Bonos del Tesoro   0

```

qgraph::qgraph(Promethee_II_mean\$tablarelacionsuper)



Se obtienen los siguientes flujos netos para las medias:

```
Promethee_II_mean$vflujos.netos
```

```
##      A1: Acciones Tech A2: S&P 500 Indexado          A3: Bitcoin
##            0.27550904           0.16272705          0.04753455
##            A4: Oro A5: Bonos del Tesoro
##      -0.29632234          -0.18944830
```

```
order(Promethee_II_mean$vflujos.netos, decreasing = TRUE)
```

```
## [1] 1 2 3 5 4
```

Obteniendo la misma ordenación que con Promethee II, ambos métodos coinciden, pero los flujos netos están más balanceados, como cabría esperar.

6.2 Resolución con Promethee Windows

```
Promethee_W = multicriterio.metodo.promethee_windows(matriz_decision, preferencias_prom, pesos)
Promethee_W1 = multicriterio.metodo.promethee_windows_kableExtra(Promethee_W)
```

6.2.1 Tablas de resultados

```
Promethee_W1$tabEscenario %>%
  kable_styling(latex_options = c("striped","condensed","HOLD_position","scale_down")), position = "center"
```

	Criterio1	Criterio2	Criterio3	Criterio4	Criterio5	Criterio6	Criterio7
Preferencias							
Pesos	0.387043924323421	0.245958760217941	0.132890978037134	0.0762291711305488	0.0566128630173979	0.0644703932907693	0.036793909982788
Funciones Preferencias	V-shape (3)	U-shape (2)	U-shape (2)	Level (4)	Linear (5)	Gaussian (6)	V-shape (3)
Q: Indiferencia	1	10	2	3	2	0	0.5
P: Preferencia	5	30	0	8	6	0	1.5
S: Gausiano	0	0	0	0	0	1.5	0
Mínimo	3	-52.2	1	-10	-8	0	-2
Estadísticas							
Maximo	25	-6	9	-2	0	10	0
Media	12	-20.94	4.6	-7	-3.2	6.8	-0.7
Desviación Tipica	8.29	16.13	3.2	3.1	2.93	3.71	0.68
A1: Acciones Tech	18	-18	5	-5	-5	10	-0.5
Evaluaciones							
A2: S&P 500 Indexado	9	-13	9	-8	-2	8	-0.5
A3: Bitcoin	25	-52.2	1	-2	-8	10	-2
A4: Oro	5	-15.5	1	-10	-1	6	-0.5
A5: Bonos del Tesoro	3	-6	7	-10	0	0	0

```
Promethee_W1$tabAcciones %>%
  kable_styling(latex_options = c("striped","condensed","HOLD_position","scale_down")), position = "center"
```

	Rango	Phi	Phi.mas	Phi.menos
A1: Acciones Tech	1	0.2755	0.4913	0.2158
A2: S&P 500 Indexado	2	0.1627	0.3878	0.2251
A3: Bitcoin	3	0.0475	0.4760	0.4284
A5: Bonos del Tesoro	4	-0.1894	0.2326	0.4220
A4: Oro	5	-0.2963	0.1467	0.4431

6.2.2 Ordenación final

```
rownames(Promethee_W$Acciones)
```

```
## [1] "A1: Acciones Tech"    "A2: S&P 500 Indexado" "A3: Bitcoin"
## [4] "A5: Bonos del Tesoro" "A4: Oro"
```

Exactamente los mismos resultados que usando las anteriores funciones, lo esperado.

7 Conclusión

El análisis del problema mediante las diferentes metodologías arroja resultados similares salvo una discrepancia, que muestra las distintas filosofías de cada método.

Consistencia en Métodos de Superación Se aprecia una consistencia entre los resultados de los métodos de superación:

ELECTRE I identifica a A1 (Acciones Tech) como la única alternativa que supera a las demás.

PROMETHEE II corrobora este resultado, con un ordenamiento de flujos netos A1 > A2 > A3 > A5 > A4, confirmando a A1 como la mejor alternativa.

PROMETHEE II (Medias) genera exactamente la misma ordenación, demostrando la estabilidad del resultado.

Ambos enfoques, basados en comparaciones dos a dos y relaciones de dominancia, coinciden en que A1 (Acciones Tech) es la solución más equilibrada respecto a los criterios y preferida.

Discrepancia: AHP vs. Métodos de Superación La principal discrepancia surge al comparar los métodos anteriores con el AHP el cual seleccionó a A3 (Bitcoin) como la mejor alternativa, seguida de A1 y A2.

Esta diferencia se puede explicar como consecuencia directa de la naturaleza de los métodos:

Victoria de A3 (AHP): AHP es un método compensatorio, por lo que el triunfo de A3 se explica por el alto peso global asignado al “Retorno Esperado”, por lo que la gran puntuación de A3 en este criterio fue suficiente para compensar sus bajas puntuaciones otros criterios relevantes, pero en menor proporción como el riesgo y la diversificación.

Victoria de A1 (ELECTRE/PROMETHEE): Estos métodos de superación penalizan la discordancia (un rendimiento mucho peor en un criterio). Favorecieron a A1 por ser la alternativa más equilibrada y robusta.

7.1 Conclusión Definitiva

Si el inversor quiere maximizar el rendimiento de su dinero y no es sensible al riesgo y no le da tanta importancia al compromiso y la operativa, Bitcoin es la mejor opción.

Por otro lado, si quiere una alternativa más equilibrada pero con un rendimiento decente, debería invertir en acciones tech