

## Tarea 2

2025-10-17

### Tarea 2: Problema de Decisión Multicriterio.

Francisco Espinar Domínguez.

## Loading required package: shape

**Objetivo:** Diseñar y resolver un problema de decisión multicriterio sobre la elección de sede para abrir una nueva oficina regional para una empresa de tecnología.

#### Situación y alternativas:

Una empresa de tecnología valora abrir cuatro posibles ciudades como sede regional. Las alternativas son:

$A_1$  : Madrid.       $A_3$  : Valencia.  
 $A_2$  : Barcelona.    $A_4$  : Sevilla.

#### Jerarquía de criterios:

Los criterios que se consideran para la elección de la sede son:

##### Criterios y subcriterios:

1. Economía (coste/beneficio)
  - (a) Coste de local y alquiler (min)
  - (b) Incentivos fiscales / subvenciones (max)
2. Recursos Humanos
  - (a) Disponibilidad de talento tecnológico (max)
  - (b) Coste laboral medio (min)
3. Infraestructura & Conectividad
  - (a) Conectividad internacional (aeropuertos, tren) (max)
  - (b) Infraestructura de telecomunicaciones / fibra (max)

Subcriterio	Tipo	Madrid (A1)	Barcelona (A2)	Valencia (A3)	Sevilla (A4)
C1.1 Coste local (€/m <sup>2</sup> )	Min	30	32	18	15
C1.2 Incentivos fiscales (0–10)	Max	6	5	7	8
C2.1 Talento tecnológico (0–10)	Max	9	8	6	5
C2.2 Coste laboral (€/mes)	Min	2600	2500	2000	1900
C3.1 Conectividad internacional (0–10)	Max	10	9	7	6
C3.2 Infraestructura telecom (0–10)	Max	9	9	8	7

Asignar pesos a los criterios y subcriterios utilizando el método AHP.

```
# Matriz de comparación por pares de criterios principales (3x3)
Xmatriznivel1 <- matrix(c(
  1, 3, 5,
  1/3, 1, 3,
  1/5, 1/3, 1
), nrow=3, byrow=TRUE)

rownames(Xmatriznivel1) <- colnames(Xmatriznivel1) <- c("Economía", "RRHH", "Infraestructura")

# Matrices de comparación de subcriterios dentro de cada grupo
Xmatriznivel2 <- array(NA, dim=c(2,2,3))

# Economía (2 subcriterios)
Xmatriznivel2[,1] <- matrix(c(
  1, 1/5, # Coste vs Incentivos
  5, 1
), nrow=2, byrow=TRUE)

rownames(Xmatriznivel2[,1]) <- colnames(Xmatriznivel2[,1]) <- c("Coste", "Incentivos")

# RRHH (2 subcriterios)
Xmatriznivel2[,2] <- matrix(c(
  1, 3,
  1/3, 1
), nrow=2, byrow=TRUE)

rownames(Xmatriznivel2[,2]) <- colnames(Xmatriznivel2[,2]) <- c("Talento", "Coste laboral")

# Infraestructura (2 subcriterios)
Xmatriznivel2[,3] <- matrix(c(
  1, 2,
  1/2, 1
), nrow=2, byrow=TRUE)

rownames(Xmatriznivel2[,3]) <- colnames(Xmatriznivel2[,3]) <- c("Conectividad", "Telecom")

# Ejecutar el AHP completo
resultadosAHP <- multicriterio.metodoAHP.variante3.completo(Xmatriznivel1, Xmatriznivel2)
resultadosAHP

## $pesos.nivel1
## $pesos.nivel1$Xmat
##           Economía      RRHH Infraestructura
## Economía      1.0000000 3.0000000           5
## RRHH           0.3333333 1.0000000           3
## Infraestructura 0.2000000 0.3333333           1
##
## $pesos.nivel1$sumacolumnas
##           Economía      RRHH Infraestructura
##           1.5333333      4.333333      9.000000
##
## $pesos.nivel1$Xmat.normalizada
```

```

##          Economía      RRHH Infraestructura
## Economía      0.6521739 0.69230769      0.5555556
## RRHH          0.2173913 0.23076923      0.3333333
## Infraestructura 0.1304348 0.07692308      0.1111111
##
## $pesos.nivel1$valoraciones.ahp
##          Economía      RRHH Infraestructura
##          0.6333457      0.2604980      0.1061563
##
## $pesos.nivel1$valoraciones.ahp.ordenadas
##          Economía      RRHH Infraestructura
##          0.6333457      0.2604980      0.1061563
##
## $pesos.nivel1$tablaresumen
##          Economía      RRHH Infraestructura Economía      RRHH
## Economía      1.0000000 3.0000000      5 0.6521739 0.69230769
## RRHH          0.3333333 1.0000000      3 0.2173913 0.23076923
## Infraestructura 0.2000000 0.3333333      1 0.1304348 0.07692308
##          1.5333333 4.3333333      9      NA      NA
##          Infraestructura prioridades.relativas
## Economía      0.5555556      0.6333457
## RRHH          0.3333333      0.2604980
## Infraestructura 0.1111111      0.1061563
##          NA      NA
##
##
## $l.pesos.nivel2
## $l.pesos.nivel2[[1]]
## $l.pesos.nivel2[[1]]$Xmat
##      [,1] [,2]
## [1,]    1 0.2
## [2,]    5 1.0
##
## $l.pesos.nivel2[[1]]$sumacolumnas
## [1] 6.0 1.2
##
## $l.pesos.nivel2[[1]]$Xmat.normalizada
##      [,1] [,2]
## [1,] 0.1666667 0.1666667
## [2,] 0.8333333 0.8333333
##
## $l.pesos.nivel2[[1]]$valoraciones.ahp
## [1] 0.1666667 0.8333333
##
## $l.pesos.nivel2[[1]]$valoraciones.ahp.ordenadas
## [1] 0.8333333 0.1666667
##
## $l.pesos.nivel2[[1]]$tablaresumen
##          prioridades.relativas
## [1,] 1 0.2 0.1666667 0.1666667      0.1666667
## [2,] 5 1.0 0.8333333 0.8333333      0.8333333
## [3,] 6 1.2      NA      NA      NA
##
##

```

```

## $l.pesos.nivel2[[2]]
## $l.pesos.nivel2[[2]]$Xmat
##      [,1] [,2]
## [1,] 1.0000000 3
## [2,] 0.3333333 1
##
## $l.pesos.nivel2[[2]]$sumacolumnas
## [1] 1.333333 4.000000
##
## $l.pesos.nivel2[[2]]$Xmat.normalizada
##      [,1] [,2]
## [1,] 0.75 0.75
## [2,] 0.25 0.25
##
## $l.pesos.nivel2[[2]]$valoraciones.ahp
## [1] 0.75 0.25
##
## $l.pesos.nivel2[[2]]$valoraciones.ahp.ordenadas
## [1] 0.75 0.25
##
## $l.pesos.nivel2[[2]]$tablaresumen
##                                prioridades.relativas
## [1,] 1.0000000 3 0.75 0.75                                0.75
## [2,] 0.3333333 1 0.25 0.25                                0.25
## [3,] 1.3333333 4  NA  NA                                    NA
##
##
## $l.pesos.nivel2[[3]]
## $l.pesos.nivel2[[3]]$Xmat
##      [,1] [,2]
## [1,] 1.0 2
## [2,] 0.5 1
##
## $l.pesos.nivel2[[3]]$sumacolumnas
## [1] 1.5 3.0
##
## $l.pesos.nivel2[[3]]$Xmat.normalizada
##      [,1] [,2]
## [1,] 0.6666667 0.6666667
## [2,] 0.3333333 0.3333333
##
## $l.pesos.nivel2[[3]]$valoraciones.ahp
## [1] 0.6666667 0.3333333
##
## $l.pesos.nivel2[[3]]$valoraciones.ahp.ordenadas
## [1] 0.6666667 0.3333333
##
## $l.pesos.nivel2[[3]]$tablaresumen
##                                prioridades.relativas
## [1,] 1.0 2 0.6666667 0.6666667                                0.6666667
## [2,] 0.5 1 0.3333333 0.3333333                                0.3333333
## [3,] 1.5 3  NA  NA                                    NA
##
##

```

```

##
## $inconsistencia.nivel1
## $inconsistencia.nivel1$lambda
## [1] 3.038511
##
## $inconsistencia.nivel1$m
## [1] 3
##
## $inconsistencia.nivel1$CI.coef.inconsistencia
## [1] 0.01925555
##
## $inconsistencia.nivel1$CA.aleatorio
## [1] 0.58
##
## $inconsistencia.nivel1$RI.coef.inconsistencia
## [1] 0.03319922
##
## $inconsistencia.nivel1$mensaje
## [1] "Consistencia aceptable"
##
##
## $l.inconsistencia.nivel2
## $l.inconsistencia.nivel2[[1]]
## $l.inconsistencia.nivel2[[1]]$lambda
## [1] 2
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[1]]$m
## [1] 2
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[1]]$CI.coef.inconsistencia
## [1] 0
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[1]]$CA.aleatorio
## [1] 0
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[1]]$RI.coef.inconsistencia
## [1] NaN
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[1]]$mensaje
## [1] "Consistencia aceptable"
##
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[2]]
## $l.inconsistencia.nivel2[[2]]$lambda
## [1] 2
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[2]]$m
## [1] 2
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[2]]$CI.coef.inconsistencia
## [1] 0
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[2]]$CA.aleatorio
## [1] 0

```

```
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[2]]$RI.coef.inconsistencia
## [1] NaN
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[2]]$mensaje
## [1] "Consistencia aceptable"
##
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[3]]
## $l.inconsistencia.nivel2[[3]]$lambda
## [1] 2
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[3]]$m
## [1] 2
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[3]]$CI.coef.inconsistencia
## [1] 0
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[3]]$CA.aleatorio
## [1] 0
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[3]]$RI.coef.inconsistencia
## [1] NaN
##
## $l.inconsistencia.nivel2[[3]]$mensaje
## [1] "Consistencia aceptable"
##
##
## $pesos.globales
## [1] 0.371702 0.628298
##
## $pesos.globales_entabla
##           Economía      RRHH Infraestructura Ponderadores Globales
##           0.1666667 0.750000      0.6666667      0.371702
##           0.8333333 0.250000      0.3333333      0.628298
## Ponder.Criterios 0.6333457 0.260498      0.1061563      NA
```

## Interpretación de la salida del método AHP:

El criterio más importante es Economía (63.3%), seguido de Recursos Humanos (26.0%) y finalmente Infraestructura (10.6%). Esto refleja que la empresa prioriza los aspectos económicos (costes e incentivos) frente a los de personal o conectividad.

Dentro de Economía, los incentivos fiscales dominan sobre el coste de alquiler. En Recursos Humanos, el talento tecnológico pesa tres veces más que el coste laboral. En Infraestructura, la conectividad internacional tiene más peso que las telecomunicaciones.

Nivel 1 (criterios):  $\alpha = 3.0385$ ,  $CI = 0.0193$ ,  $RI = 0.03319922 \Rightarrow$  Consistencia aceptable.

Nivel 2 (subcriterios): Todas las matrices 2x2 tienen  $CI=0 \Rightarrow$  Perfectamente consistentes.

Conclusión: Las matrices de comparación son coherentes, los juicios de preferencia no se contradicen.

Con la tabla de los pesos puedo calcular los pesos globales de cada subcriterio, multiplicando los pesos de los subcriterios por los pesos del criterio padre:

Criterio principal	Subcriterio	Peso local	Peso global
Economía	Coste de local y alquiler	0.1667	0.1056
	Incentivos fiscales / subvenciones	0.8333	0.5278
Recursos Humanos	Disponibilidad de talento tecnológico	0.75	0.1954
	Coste laboral medio	0.25	0.0651
Infraestructura & Conectividad	Conectividad internacional	0.6667	0.0708
	Infraestructura de telecomunicaciones	0.3333	0.0354

Los pesos suman aproximadamente 1, por lo que la ponderación jerárquica está bien hecha.

## Genero el resultado y el diagrama de barras:

```
# Matriz de Decisión (Alternativas en filas, Criterios en columnas)
matriz_datos <- matrix(
  c(30, 6, 9, 2600, 10, 9,
    32, 5, 8, 2500, 9, 9,
    18, 7, 6, 2000, 7, 8,
    15, 8, 5, 1900, 6, 7),
  nrow=4, byrow=TRUE)

datos_alternativas <- as.data.frame(matriz_datos)
colnames(datos_alternativas) <- c("C1.1", "C1.2", "C2.1", "C2.2", "C3.1", "C3.2")
rownames(datos_alternativas) <- c("A1_Madrid", "A2_Barcelona", "A3_Valencia", "A4_Sevilla")

# Preparar matriz para normalización AHP
# Invertir criterios de Minimización (C1.1, C2.2) a Maximización: (Max - X)
datos_ahp <- datos_alternativas
datos_ahp$C1.1 <- max(datos_ahp$C1.1) - datos_ahp$C1.1
datos_ahp$C2.2 <- max(datos_ahp$C2.2) - datos_ahp$C2.2

# Normalización Nadir: (X - Min) / (Max - Min)
matriz_normalizada <- multicriterio.homogeneizacion.nadir(datos_ahp)

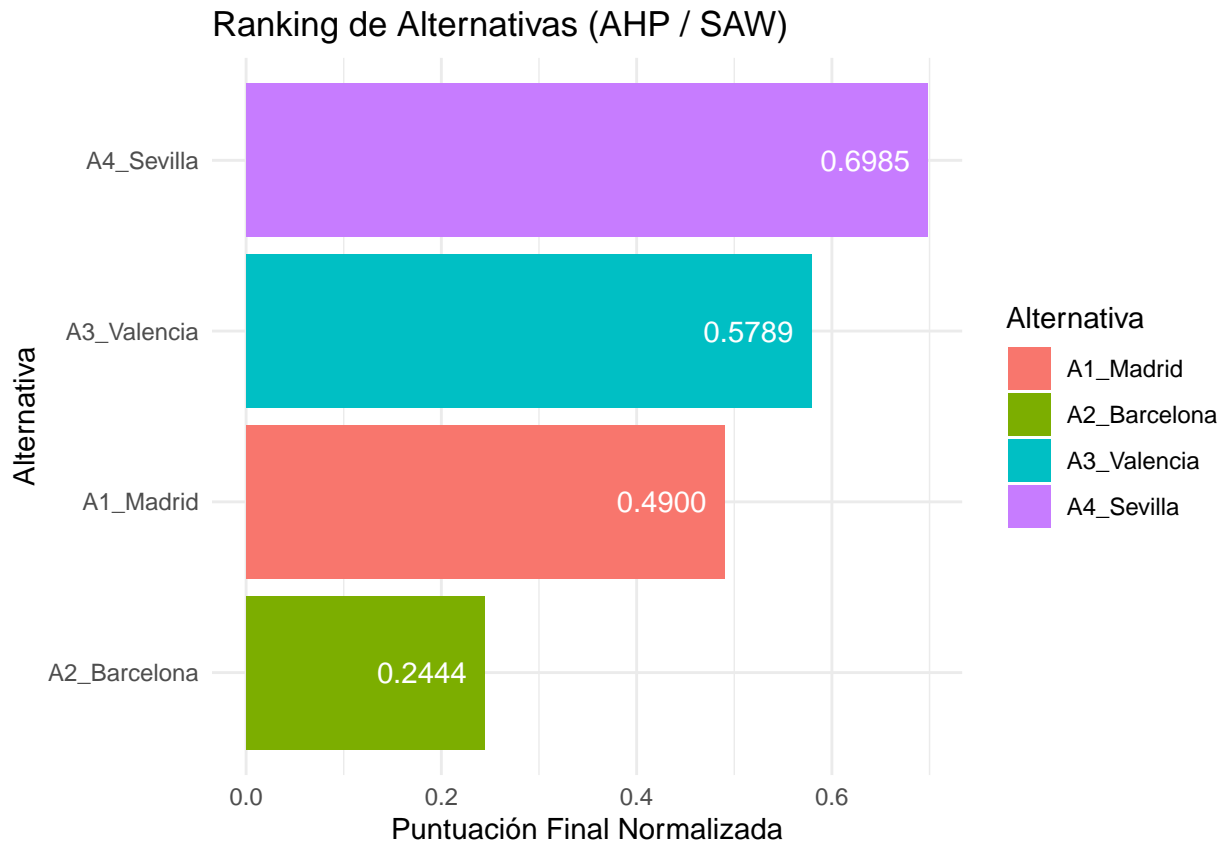
# Pesos Globales de AHP
pesos_globales <- c(0.1056, 0.5278, 0.1954, 0.0651, 0.0708, 0.0354)

# Puntuación AHP Final (SAW)
puntuaciones_AHP <- as.matrix(matriz_normalizada) %*% pesos_globales

# Generar Ranking AHP
ranking_AHP <- data.frame(
  Alternativa = rownames(datos_alternativas),
  Puntuacion_AHP = as.numeric(puntuaciones_AHP),
  Ranking_AHP = rank(-as.numeric(puntuaciones_AHP), ties.method = "min")
)

# Visualización del Ranking AHP
library(ggplot2)
ggplot(ranking_AHP, aes(x = reorder(Alternativa, Puntuacion_AHP), y = Puntuacion_AHP, fill = Alternativa)) +
  geom_bar(stat = "identity") +
  geom_text(aes(label = sprintf("%.4f", Puntuacion_AHP)), hjust = 1.2, color = "white") +
  labs(title = "Ranking de Alternativas (AHP / SAW)",
```

```
x = "Alternativa",
y = "Puntuación Final Normalizada") +
theme_minimal() +
coord_flip()
```



### Aplicación del método ELECTRE:

```
# Preparación para ELECTRE
datos_electre <- datos_alternativas
# Criterios de Minimización (C1.1, C2.2) se multiplican por -1 para ser MAXIMIZACIÓN
datos_electre$C1.1 <- -datos_electre$C1.1
datos_electre$C2.2 <- -datos_electre$C2.2
pesos_electre <- pesos_globales
```

```
# Ejecutar ELECTRE (se usan los umbrales medios por defecto)
res_electre <- multicriterio.metodoelectre_varlibro(
  Mvalor = as.matrix(datos_electre),
  pesos.criterios = pesos_electre
)
```

```
print("--- Resultados ELECTRE (Umbrales Medios) ---")
```

```
## [1] "--- Resultados ELECTRE (Umbrales Medios) ---"
```

```
print(paste("Umbral Concordancia Medio:", res_electre$umbral.c.medio))
```

```
## [1] "Umbral Concordancia Medio: 0.50005"
```



```
print(paste("Umbral Discordancia Medio:", res_electre$umbral.d.medio))
```

```
## [1] "Umbral Discordancia Medio: 0.689513073133763"
```

```
print("Matriz de Dominancia Agregada (1=Supera, 0=No Supera):")
```

```
## [1] "Matriz de Dominancia Agregada (1=Supera, 0=No Supera):"
```

```
print(res_electre$Minddominancia_agregada)
```

```
##           A1_Madrid A2_Barcelona A3_Valencia A4_Sevilla
## A1_Madrid      NA           1           0           0
## A2_Barcelona    0           NA           0           0
## A3_Valencia     0           1          NA           0
## A4_Sevilla      1           1           1          NA
```

```
print("Núcleo (Alternativas no dominadas):")
```

```
## [1] "Núcleo (Alternativas no dominadas):"
```

```
print(res_electre$nucleo_aprox)
```

```
## A4_Sevilla
```

```
##           4
```

### Conclusiones ELECTRE:

Sevilla es la única alternativa que sobreclasifica a todas las demás y no es sobreclasificada por ninguna (es la que más veces tiene un '1' en su fila y más veces tiene un '0' en su columna, excluyendo la diagonal). Por lo tanto, Sevilla es la mejor opción según el método ELECTRE con umbrales medios.

### Aplicación del método Promethee:

```
# PROMETHEE utiliza los datos originales y la tabla de preferencias
```

```
tab_fpref <- matrix(c(
  3, 1, 10, 0,   # C1.1 Coste local (Min, V-shape)
  3, 0.5, 2, 0,  # C1.2 Incentivos (Max, V-shape)
  3, 0.5, 2, 0,  # C2.1 Talento (Max, V-shape)
  3, 100, 300, 0, # C2.2 Coste laboral (Min, V-shape)
  3, 0.5, 2, 0,  # C3.1 Conectividad (Max, V-shape)
  3, 0.5, 1, 0   # C3.2 Telecom (Max, V-shape)
), nrow=6, byrow=TRUE)
```

```
fminmax <- c("min", "max", "max", "min", "max", "max")
```

```
# Ejecutar PROMETHEE II (Flujos Medios Netos)
```

```
res_promethee <- multicriterio.metodo.promethee_windows(
  matdecision = as.matrix(datos_alternativas),
  tab.fpref = tab_fpref,
  pesos.criterios = pesos_globales,
  fminmax = fminmax
)
```

```
print("--- Ranking PROMETHEE II (Flujos Medios Netos) ---")
```

```
## [1] "--- Ranking PROMETHEE II (Flujos Medios Netos) ---"
```

```
print(res_promethee$Acciones)
```

```
##           Rango      Phi Phi.mas Phi.menos
## A1_Madrid      1  0.1835  0.4544  0.2709
## A4_Sevilla      2  0.0510  0.4398  0.3888
## A3_Valencia      3 -0.0650  0.3379  0.4028
## A2_Barcelona      4 -0.1695  0.3219  0.4914
```

## Conclusiones PROMETHEE II:

La alternativa con el mayor flujo neto es Sevilla, seguida de Valencia. Este ranking es idéntico al obtenido con el método AHP, confirmando que Sevilla es la mejor opción.

## Análisis comparativo y conclusiones finales:

### Tabla de comparación de rankings

Alternativa	Ranking AHP	Ranking Electre I	Ranking Promethee II
A <sub>4</sub> (Sevilla)	1	1	1
A <sub>3</sub> (Valencia)	2	2	2
A <sub>1</sub> (Madrid)	3	3	3
A <sub>2</sub> (Barcelona)	4	4	4

**Consistencia de resultados:** Existe una convergencia total con los 3 métodos, todos coinciden en que Sevilla es la mejor opción, seguida de Valencia, Madrid y finalmente Barcelona. Esto refuerza la confianza en la decisión tomada.

**Decisión final:** La alternativa óptima para la apertura de la nueva oficina regional es Sevilla.

### Justificación:

**Prioridad Empresarial:** El éxito de Sevilla se debe a la alta ponderación otorgada al criterio de Economía (63.3% del peso total), dentro del cual los Incentivos Fiscales y el Bajo Coste Laboral son muy fuertes.

### Validación de Métodos:

AHP: Otorga la mayor puntuación a Sevilla por su alto rendimiento en los criterios más ponderados.

ELECTRE: Confirma la elección al establecer a Sevilla como la única alternativa en el núcleo de la solución, lo que significa que ninguna otra alternativa la supera en los tests de concordancia y discordancia.

PROMETHEE II: Sevilla presenta el mayor Flujo Neto positivo, indicando una preferencia saliente muy superior a la preferencia entrante.

### Material gráfico:

```
# Código R para un Diagrama AHP de 3 Niveles (más representativo)

# Cargar las librerías necesarias
library(diagram)

# Definir la matriz de la estructura (11 nodos: 1 Obj + 6 Subcri + 4 Alts)
M_diagrama <- matrix(data=0, nrow=11, ncol=11, byrow=TRUE)

# Nombres de los nodos
nombres_nodos <- c(
  "Objetivo",
```

```

"Coste/Alq", "Incentivos", "Talento", "CosteLab", "Conect", "Telecom",
"Madrid", "Barcelona", "Valencia", "Sevilla"
)

# Pesos Globales AHP (para el nivel Objetivo -> Subcriterios)
pesos_globales <- c(0.1056, 0.5278, 0.1954, 0.0651, 0.0708, 0.0354)
# M[fila, columna] = valor. Flechas de Objetivo (Col. 1) a Subcriterios (Filas 2-7)
M_diagrama[2:7, 1] <- round(pesos_globales, 4)

# Relación Subcriterios -> Alternativas (solo indicando la relación, con un valor pequeño)
M_diagrama[8:11, 2:7] <- 0.01 # Flechas de Subcriterios (Cols. 2-7) a Alternativas (Filas 8-11)

# Generar el diagrama
png("ahp_diagram.png", width=1000, height=700)
# 'pos' define cuántos nodos hay en cada nivel: 1 Obj, 6 Subcriterios, 4 Alternativas
plotmat(M_diagrama, pos = c(1, 6, 4), name = nombres_nodos,
        lwd = 1, box.lwd = 2,
        curve = 0, cex.txt = 0.8, box.size = 0.08, box.type = "square",
        box.prop = 0.35, main = "Estructura Jerárquica del Problema (AHP)",
        arr.pos = 0.65, arr.lcol = c("darkgreen"), arr.col = c("darkgreen"),
        segment.from = 0, segment.to = 1, arr.len=0.2,
        box.cex = 1, arr.type="triangle", dtext=0.1, relsize=1,
        box.col = c("lightblue", rep("lightgreen", 6), rep("orange", 4)))
dev.off()

## pdf
## 2

```