

Selección del Mejor Sistema de Almacenamiento en la Nube para Estudiantes Universitarios

Aplicación de Métodos de Decisión Multicriterio (AHP, ELECTRE, PROMETHEE)

Carmen Puerto Morón

6 de Noviembre de 2025

```
## Warning: package 'webshot' was built under R version 4.5.2

## WARNING: Rtools is required to build R packages, but no version of Rtools compatible with R 4.5.1 was found.
## Please download and install Rtools 4.5 from https://cran.r-project.org/bin/windows/Rtools/.

## Using GitHub PAT from the git credential store.

## Skipping install of 'ahp' from a github remote, the SHA1 (fd5efb96) has not changed since last install.
## Use 'force = TRUE' to force installation

## Cargando paquete requerido: shape
```

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El almacenamiento en la nube se ha convertido en una herramienta fundamental para los estudiantes, aunque también supone uno de los principales problemas a la hora de almacenar archivos debido a la cantidad de espacio gratuito. La elección del proveedor adecuado (Google Drive, Mega, DropBox, OneDrive) requiere un buen análisis que va más allá de la capacidad gratuita de estos.

Para la realización de este trabajo vamos a aplicar distintas técnicas de Decisión Multicriterios (AHP, ELECTRE, PROMETHEE) buscando la alternativa óptima para un perfil de usuario académico.

2. ALTERNATIVAS Y CRITERIOS

Objetivo: Seleccionar la mejor alternativa de almacenamiento en la nube

1. Google Drive
2. Dropbox
3. OneDrive
4. Mega

Donde vamos a emplear los siguientes criterios (y subcriterios)

1. Factor Económico.
 - Capacidad Gratuita.
 - DESCRIPCIÓN: GB disponibles sin necesidad de pagar, es decir, gratuitos.
 - OBJETIVO: Maximizar. Un mayor número de GB sin coste es más ventajoso.
 - Precio del Plan Premium.
 - DESCRIPCIÓN: Costo anual en euros del plan de almacenamiento.
 - OBJETIVO: Minimizar. Se prefiere el plan con el menor coste económico.
2. Factor Técnico.
 - Seguridad.
 - DESCRIPCIÓN: Nivel de seguridad que ofrece cada alternativa.
 - OBJETIVO: Maximizar. Un número menor indica menor seguridad, y un número mayor más confianza y protección.
 - Velocidad de sincronización.
 - DESCRIPCIÓN: Puntuamos la rapidez en la que se suben y descargan los datos.
 - OBJETIVO: Maximizar. Un valor mas alto indica mayor velocidad, lo que deseamos.
3. Experiencia de Usuario
 - Facilidad de Uso.
 - DESCRIPCIÓN: La calidad de las aplicaciones moviles, la sincronización con los sistemas, etc.
 - OBJETIVO: Maximizar. Se prefiere la mayor puntuación para una mejor experiencia para el usuario.

3. MATRIZ DE DECISIÓN

Table 1: Matriz de Decisión (Rendimiento de Alternativas vs. Sub-criterios)

| | Capacidad | Precio_Premium | Seguridad | Velocidad | Facilidad |
|--------------|-----------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| Google Drive | 16 | 21 | 9 | 10 | 12 |
| Dropbox | 1 | 10 | 8 | 6 | 7 |
| OneDrive | 6 | 18 | 9 | 7 | 8 |
| Mega | 20 | 0 | 6 | 8 | 7 |

4. METODO 1: PROCESO ANALÍTICO JERARQUICO

El método AHP permite estructurar el problema en niveles jerarquicos y obtener los pesos de los criteerios y subcriterios mediante comparaciones por pares (dos a dos)

4.1. Ponderaciones de Subcriterios

4.1.1. Matriz de comparacion por pares

En primer lugar vamos a hacer una matriz que contenga la información al comparar los distintos *criterios*:

```
## Warning in styling_latex_scale(out, table_info, "down"): Longtable cannot be
## resized.
```

Table 2: Matriz de Comparación de Subcriterios (AHP)

| | Capacidad | Precio_Premium | Seguridad | Velocidad | Facilidad |
|----------------|-----------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| Capacidad | 1.000 | 7 | 1.000 | 5.0 | 3.000 |
| Precio_Premium | 0.143 | 1 | 0.111 | 0.2 | 0.143 |
| Seguridad | 1.000 | 9 | 1.000 | 5.0 | 1.000 |
| Velocidad | 0.200 | 5 | 0.200 | 1.0 | 0.333 |
| Facilidad | 0.333 | 7 | 1.000 | 3.0 | 1.000 |

Ahora se hará una matriz para cada uno de los criterios haciendo comparaciones dos a dos sobre las distintas alternativas y ver cual es preferible a cual, buscando siempre respetar la relación de coherencia.

4.2. Ponderaciones de Alternativas

MAYOR AUTOVALOR

Pesos Locales Calculamos los pesos locales de las 4 alternativas bajo cada uno de los 5 subcriterios utilizando el metodo del autovector.

Table 3: Pesos Locales por el Metodo Mayor Autovalor de las Alternativas por Subcriterio (AHP)

| | Google Drive | Dropbox | OneDrive | Mega |
|----------------|--------------|---------|----------|-------|
| Capacidad | 0.342 | 0.041 | 0.086 | 0.532 |
| Precio_Premium | 0.046 | 0.203 | 0.094 | 0.657 |
| Seguridad | 0.346 | 0.209 | 0.346 | 0.098 |
| Velocidad | 0.564 | 0.082 | 0.128 | 0.226 |
| Facilidad | 0.572 | 0.109 | 0.209 | 0.109 |

Verificando Incosistencia

```
## [1] "Inconsistencia Matriz de Criterios:"
```

```
## [1] "Consistencia aceptable"
```

```
## [1] "Inconsistencia C1 (Capacidad):"
```

```
## [1] "Consistencia aceptable"
```

```
## [1] "Inconsistencia C2 (Precio):"
```

```
## [1] "Consistencia aceptable"

## [1] "Inconsistencia C3 (Seguridad):"

## [1] "Consistencia aceptable"

## [1] "Inconsistencia C4 (Velocidad):"

## [1] "Consistencia aceptable"

## [1] "Inconsistencia C5 (Facilidad):"

## [1] "Consistencia aceptable"
```

Pesos Globales

```
## Warning in styling_latex_scale(out, table_info, "down"): Longtable cannot be
## resized.
```

| | Capacidad | Precio_Premium | Seguridad | Velocidad | Facilidad | Ponderadores Globales |
|------------------|-----------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|
| Google Drive | 0.3418072 | 0.0457253 | 0.3462028 | 0.5643999 | 0.5724501 | 0.4014269 |
| Dropbox | 0.0405358 | 0.2026958 | 0.2093813 | 0.0823386 | 0.1092702 | 0.1147006 |
| OneDrive | 0.0857843 | 0.0941926 | 0.3462028 | 0.1276048 | 0.2090095 | 0.1943055 |
| Mega | 0.5318727 | 0.6573864 | 0.0982131 | 0.2256567 | 0.1092702 | 0.2895669 |
| Ponder.Criterios | 0.3705076 | 0.0313527 | 0.3021955 | 0.0848533 | 0.2110909 | NA |

MEDIA GEOMÉTRICA

Pesos Locales

Table 5: Pesos Locales por Media Aritmetica de las Alternativas por Subcriterio (AHP)

| | Google Drive | Dropbox | OneDrive | Mega |
|----------------|--------------|---------|----------|-------|
| Capacidad | 0.344 | 0.040 | 0.086 | 0.530 |
| Precio_Premium | 0.046 | 0.204 | 0.096 | 0.654 |
| Seguridad | 0.348 | 0.207 | 0.348 | 0.097 |
| Velocidad | 0.563 | 0.082 | 0.128 | 0.227 |
| Facilidad | 0.572 | 0.109 | 0.209 | 0.109 |

Pesos Globales

```
## Warning in styling_latex_scale(out, table_info, "down"): Longtable cannot be
## resized.
```

| | Capacidad | Precio_Premium | Seguridad | Velocidad | Facilidad | Ponderadores Globales |
|------------------|-----------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|
| Google Drive | 0.3444651 | 0.0455750 | 0.3478379 | 0.5628910 | 0.5723032 | 0.4029492 |
| Dropbox | 0.0400588 | 0.2044514 | 0.2068257 | 0.0817295 | 0.1093606 | 0.1147156 |
| OneDrive | 0.0855782 | 0.0955070 | 0.3478379 | 0.1279135 | 0.2089756 | 0.1964320 |
| Mega | 0.5298979 | 0.6544666 | 0.0974985 | 0.2274660 | 0.1093606 | 0.2859031 |
| Ponder.Criterios | 0.3649836 | 0.0308570 | 0.3080903 | 0.0837177 | 0.2123514 | NA |

METODO BÁSICO

Pesos Locales

Table 7: Pesos Locales por el Metodo Basico de las Alternativas por Subcriterio (AHP)

| | Google Drive | Dropbox | OneDrive | Mega |
|----------------|--------------|---------|----------|-------|
| Capacidad | 0.343 | 0.042 | 0.088 | 0.527 |
| Precio_Premium | 0.048 | 0.208 | 0.101 | 0.643 |
| Seguridad | 0.345 | 0.210 | 0.345 | 0.099 |
| Velocidad | 0.560 | 0.084 | 0.130 | 0.227 |
| Facilidad | 0.572 | 0.109 | 0.209 | 0.109 |

Pesos Globales

Warning in styling_latex_scale(out, table_info, "down"): Longtable cannot be resized.

| | Capacidad | Precio_Premium | Seguridad | Velocidad | Facilidad | Ponderadores Globales |
|------------------|-----------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|
| Google Drive | 0.3427931 | 0.0479997 | 0.3452206 | 0.5600984 | 0.5720085 | 0.4017540 |
| Dropbox | 0.0418400 | 0.2082749 | 0.2101103 | 0.0835207 | 0.1094017 | 0.1164041 |
| OneDrive | 0.0883036 | 0.1010439 | 0.3452206 | 0.1295745 | 0.2091880 | 0.1961503 |
| Mega | 0.5270634 | 0.6426815 | 0.0994485 | 0.2268064 | 0.1094017 | 0.2856916 |
| Ponder.Criterios | 0.3633994 | 0.0323184 | 0.3041490 | 0.0877683 | 0.2123648 | NA |

4.3. Conclusiones

Conclusión: Podemos ver que independientemente del método de cálculo de los pesos locales utilizado (Método del Mayor Autovalor, Media Geométrica o Método Básico), la alternativa más óptima para seleccionar es **Google Drive** con un peso global que se mantiene consistentemente alto:

- **Método del Mayor Autovalor: 40.24%**
- **Media Geométrica: 40.29%**
- **Método Básico: 40.18%**

Además, se verifica que para todos los métodos la alternativa menos óptima para seleccionar es **Dropbox**, cuyos ponderadores globales se sitúan consistentemente alrededor del 11.5%.

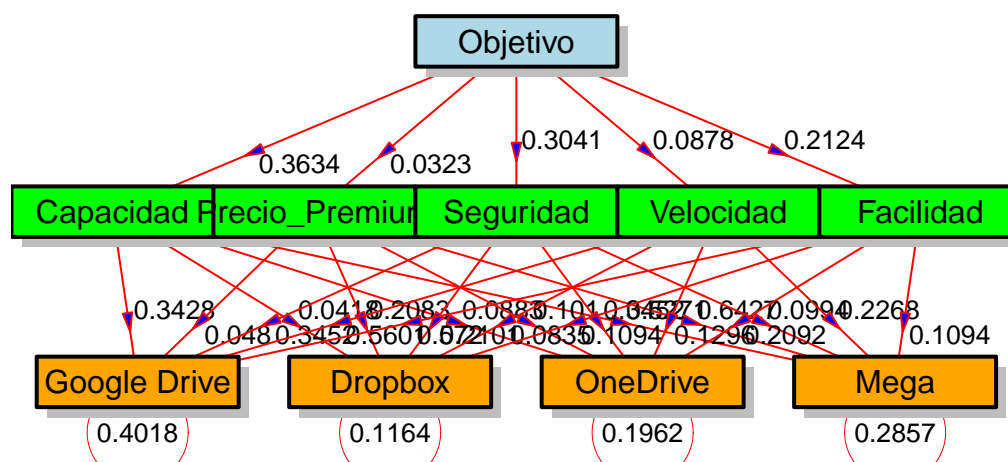
5. METODO 2: Diagrama Jerárquico AHP

Warning in styling_latex_scale(out, table_info, "down"): Longtable cannot be resized.

| | Capacidad | Precio_Premium | Seguridad | Velocidad | Facilidad | Ponderadores Globales |
|------------------|-----------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|
| Google Drive | 0.3427931 | 0.0479997 | 0.3452206 | 0.5600984 | 0.5720085 | 0.4017540 |
| Dropbox | 0.0418400 | 0.2082749 | 0.2101103 | 0.0835207 | 0.1094017 | 0.1164041 |
| OneDrive | 0.0883036 | 0.1010439 | 0.3452206 | 0.1295745 | 0.2091880 | 0.1961503 |
| Mega | 0.5270634 | 0.6426815 | 0.0994485 | 0.2268064 | 0.1094017 | 0.2856916 |
| Ponder.Criterios | 0.3633994 | 0.0323184 | 0.3041490 | 0.0877683 | 0.2123648 | NA |

Diagrama

Estructura Jerárquica (AHP)

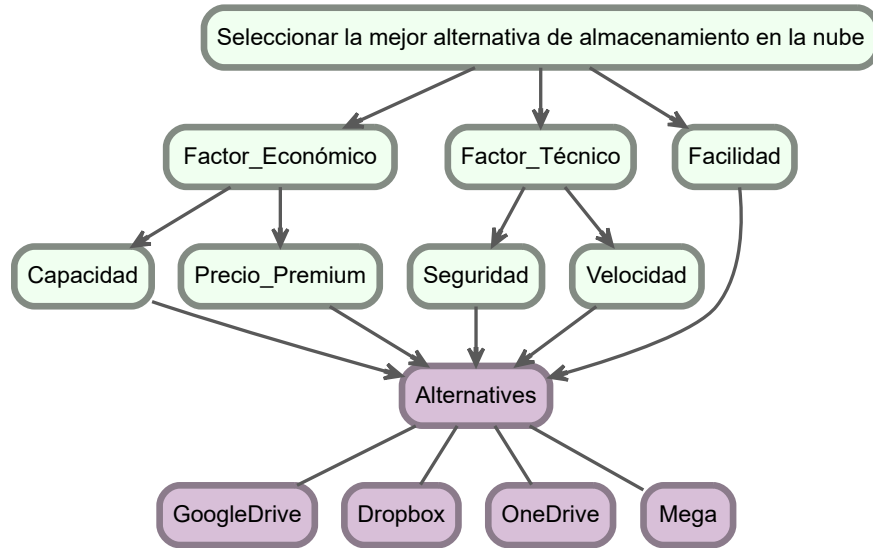


No se ve de forma muy clara en este diagrama ya que está toda la información muy condensada. Pero puede leerse bajo cada una de las alternativas el peso global que tiene cada una en la decisión final y podemos ver que la mejora más óptima para ser implementada según este método es Google Drive.

Implementación AHP con el Paquete “ahp”

Podemos ver un primer gráfico con forma de árbol que muestra el objetivo que se persigue en este trabajo, los distintos criterios que se tienen en cuenta para tomar esta elección y las distintas alternativas que pueden llevarse a cabo:

file:///C:/Users/puerto/AppData/Local/Temp/Rtmp04oxpJ/file6888cebceb/widget688841226288.html screens



Contribución Total

| | Weight | GoogleDrive | Mega | OneDrive | Dropbox | Inconsistency |
|---|--------|-------------|-------|----------|---------|---------------|
| Seleccionar la mejor alternativa de almacenamiento en la nube | 100.0% | 38.6% | 37.1% | 15.0% | 9.4% | 1.7% |
| Factor_Económico | 55.8% | 17.0% | 30.6% | 4.8% | 3.4% | 0.0% |
| Capacidad | 48.9% | 16.7% | 26.0% | 4.2% | 2.0% | 3.8% |
| Precio_Premium | 7.0% | 0.3% | 4.6% | 0.7% | 1.4% | 6.5% |
| Factor_Técnico | 32.0% | 14.6% | 5.2% | 7.6% | 4.7% | 0.0% |
| Seguridad | 16.0% | 5.5% | 1.6% | 5.5% | 3.3% | 2.3% |
| Velocidad | 16.0% | 9.0% | 3.6% | 2.0% | 1.3% | 2.2% |
| Facilidad | 12.2% | 7.0% | 1.3% | 2.5% | 1.3% | 0.2% |

| | Weight | GoogleDrive | Mega |
|---|--------|-------------|-------|
| Seleccionar la mejor alternativa de almacenamiento en la nube | 100.0% | 38.6% | 37.1% |
| Factor_Económico | 55.8% | 17.0% | 30.6% |
| Capacidad | 48.9% | 16.7% | 26.0% |
| Precio_Premium | 7.0% | 0.3% | 4.6% |
| Factor_Técnico | 32.0% | 14.6% | 5.2% |
| Seguridad | 16.0% | 5.5% | 1.6% |
| Velocidad | 16.0% | 9.0% | 3.6% |
| Facilidad | 12.2% | 7.0% | 1.3% |

Pesos Locales

| | Priority | GoogleDrive | Mega | OneDrive | Dropbox | Inconsistency |
|---|----------|-------------|-------|----------|---------|---------------|
| Seleccionar la mejor alternativa de almacenamiento en la nube | 100.0% | | | | | 1.7% |
| Factor_Económico | 55.8% | | | | | 0.0% |
| Capacidad | 87.5% | 34.2% | 53.2% | 8.6% | 4.1% | 3.8% |
| Precio_Premium | 12.5% | 4.6% | 65.7% | 9.4% | 20.3% | 6.5% |
| Factor_Técnico | 32.0% | | | | | 0.0% |
| Seguridad | 50.0% | 34.6% | 9.8% | 34.6% | 20.9% | 2.3% |
| Velocidad | 50.0% | 56.4% | 22.6% | 12.8% | 8.2% | 2.2% |
| Facilidad | 12.2% | 57.2% | 10.9% | 20.9% | 10.9% | 0.2% |

| | Priority | GoogleDrive | Mega |
|---|----------|-------------|-------|
| Seleccionar la mejor alternativa de almacenamiento en la nube | 100.0% | | |
| Factor_Económico | 55.8% | | |
| Capacidad | 87.5% | 34.2% | 53.2% |
| Precio_Premium | 12.5% | 4.6% | 65.7% |
| Factor_Técnico | 32.0% | | |
| Seguridad | 50.0% | 34.6% | 9.8% |
| Velocidad | 50.0% | 56.4% | 22.6% |
| Facilidad | 12.2% | 57.2% | 10.9% |

Análisis de las Tablas AHP:

Contribución Total de los Criterios La primera tabla muestra la contribución total de cada factor en la selección final. El factor con mayor peso es:

Factor Económico (55.8%): Es el factor más importante y domina la decisión con un peso global de **55.8%**. En este factor, la alternativa de **Mega** lidera, contribuyendo con el **30.6%** del peso total del Factor Económico para la alternativa final, lo que refleja la relevancia de la Capacidad en la decisión.

De forma similar, puede verse esto para el resto de factores hasta llegar al factor con menor peso que es la **Experiencia de Usuario** con tan solo un **12.2%**.

Los valores de inconsistencia son bajos, siendo el más alto el del subcriterio **Precio_Premium (6.5%)** y la inconsistencia global es solo del **1.7%**. Esto indica que las evaluaciones y comparaciones dentro de cada factor se han hecho de manera coherente.

Pesos Locales por Criterio En la segunda tabla, se detallan los pesos locales, que reflejan la importancia de cada alternativa dentro de cada subcriterio específico. Cabe destacar que la opción de **Mega** es la más relevante para el subcriterio Capacidad, con un peso local del **53.2%**.

Fijándonos en el peso, vemos que la implementación de **Google Drive** es la alternativa preferible para minimizar el riesgo, ya que se posiciona como la opción con mayor seguridad y velocidad dentro del **Factor Técnico**, colocándose así con un **34.6%** de peso local en Seguridad (junto a OneDrive) y un **56.4%** de peso local en Velocidad.

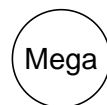
Conclusión

Finalmente, se puede concluir de forma general que aplicando el método AHP multinivel, la alternativa de **Mega** es la opción que lidera la prioridad global con un **38.6%**, seguida de cerca por **Google Drive** con un **37.1%**. Por lo tanto, para las prioridades globales, las mejoras deberían enfocarse en **Mega** y **Google Drive**, siendo ambas opciones muy fuertes en el almacenamiento en la nube, aunque Mega sobresale en Capacidad (su mayor fortaleza) y Google Drive en el equilibrio de Seguridad y Velocidad.

6. METODO 2: ELECTRE

El método ELECTRE trata separar el conjunto de todas las alternativas en dos subconjuntos, uno formado por las alternativas mas favorables y otro formado por las peores opciones, y todo ello con ayuda de un grafo. El metodo funciona de forma secuencial, reduciendo el conjunto de alternativas favorables, hasta obtener una sola. Se basa en umbrales de concordancia y discordancia.

```
## Warning in rbind(tabdec.X, pesos.criterios, no.se.compensan): number of columns
## of result is not a multiple of vector length (arg 3)
```



Grafo de Sobreclasificación

```
## Google Drive      Mega
##                1      4
```

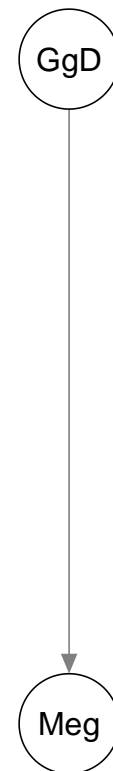
Conclusión

Google Drive y Mega forman el Núcleo de alternativas no dominadas. Esto significa que ninguna de las otras es lo suficientemente buena para superarlas bajo los umbrales definidos.

Observamos que Google Drive supera a Dropbox y OneDrive, OneDrive solo supera a Dropbox y Mega está totalmente aislada, esto es debido a que su rendimiento externo y su debilidad extrema hacen que no tenga suficiente concordancia para superar a Google Drive. Es lo suficientemente mala en seguridad para que Google Drive no pueda superarla.

Vamos a bajar el nivel de concordancia hasta obtener solo un unico valor en el nucleo:

```
## Warning in rbind(tabdec.X, pesos.criterios, no.se.compensan): number of columns
## of result is not a multiple of vector length (arg 3)
```



Grafo de Sobrecalificación

```
## Google Drive
##           1
```

Según el método ELECTRE la mejora más óptima es a_1 implementar un sistema de telemetría. Además pueden ordenarse las alternativas:



```
## Google Drive
##           1
```

Conclusión

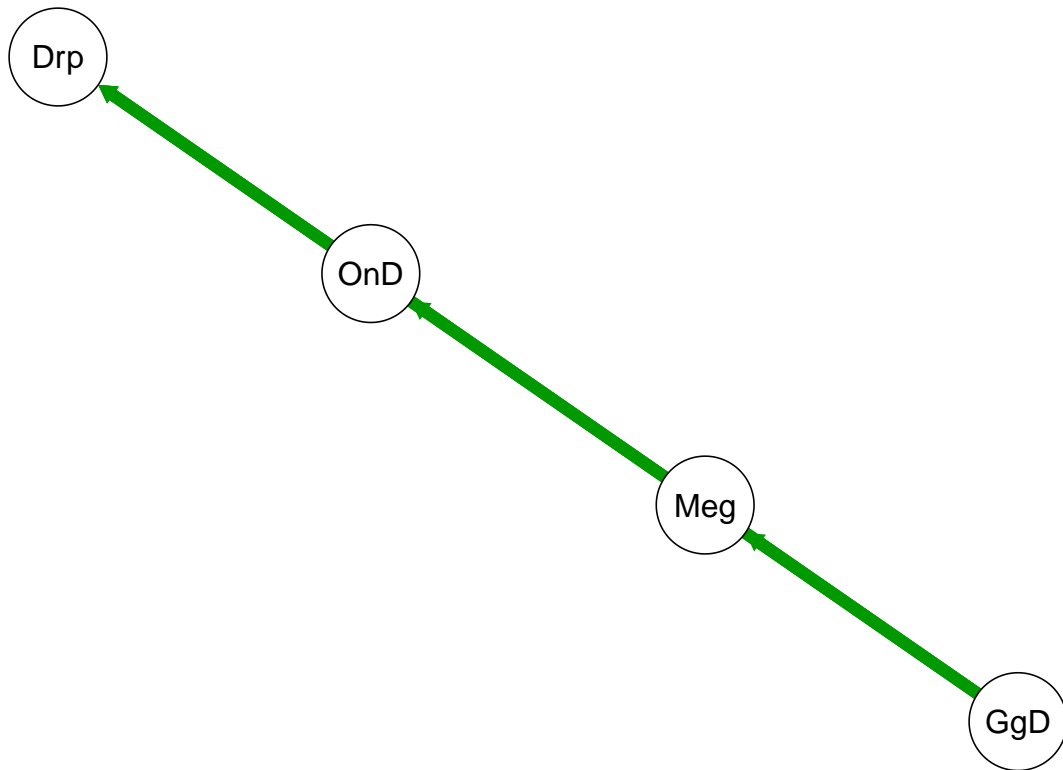
Con el método ELECTRE visto en clase, con los pesos definidos para este metodo (hemos usado los mismos que para el metodo AHP), definiendo un umbral de concordancia del 0.6.

Hemos obtenido el grafico de relaciones. Observando que el núcleo de alternativas es: *Google Drive*. Esto quiere decir que no existe otra alternativa que la domine.

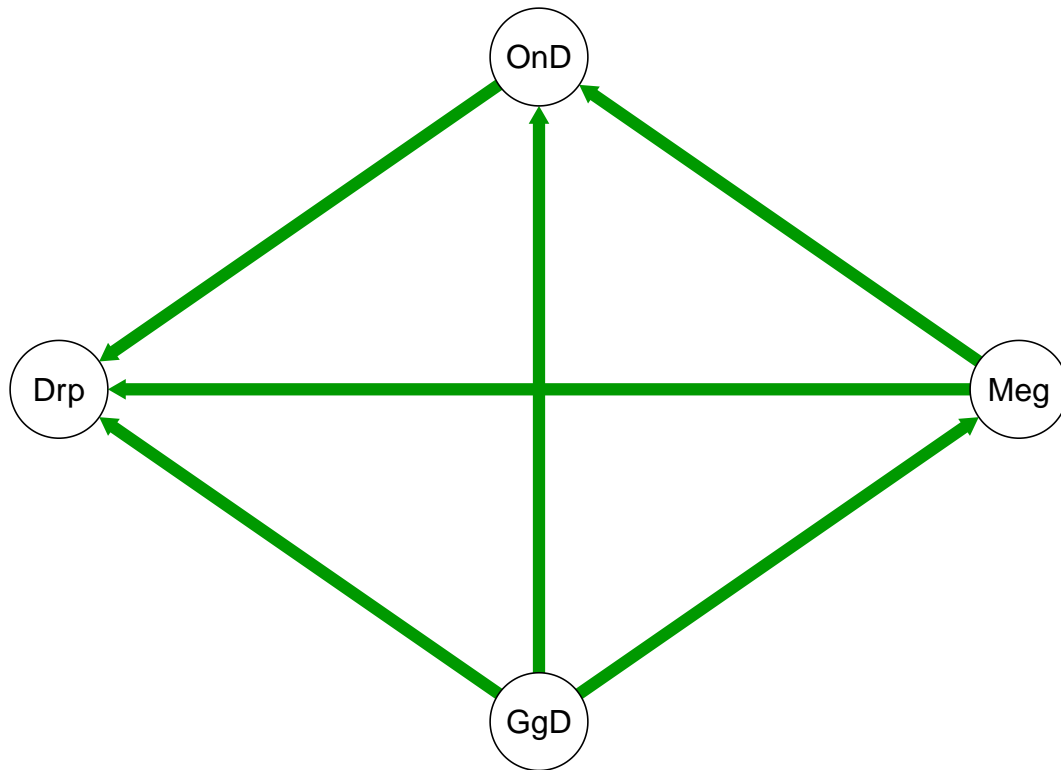
7. METODO 3: PROMETHEE

El metodo Promethee es una tecnica que establece un ranking completo de alternativas transformando la evaluacion de criterios en grados de preferencia (valores entre 0 y 1). Se logra mediante funciones de preferencia utilizando dos umbrales: indiferencia y preferencia. Cuando una alternativa es mejor que otra se mide calculando el flujo neto, diferencia entre el flujo positivo y el flujo negativo, ordenando las alternativas de mayor a menor.

PROMETHEE I

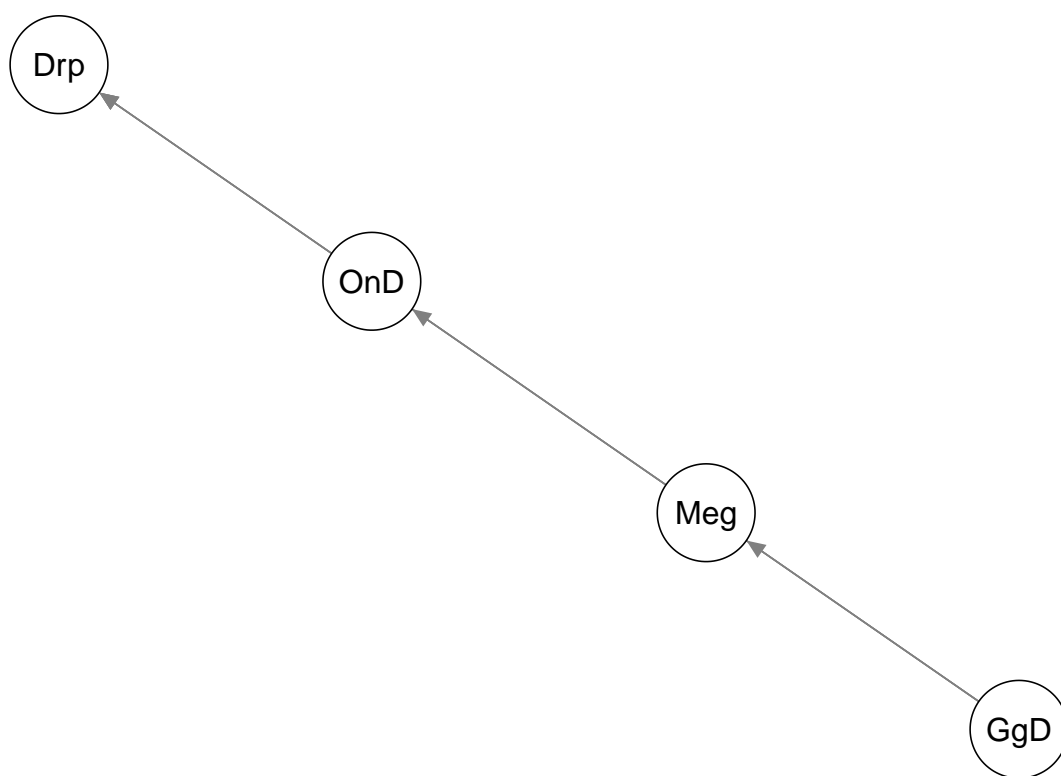


PROMETHEE II

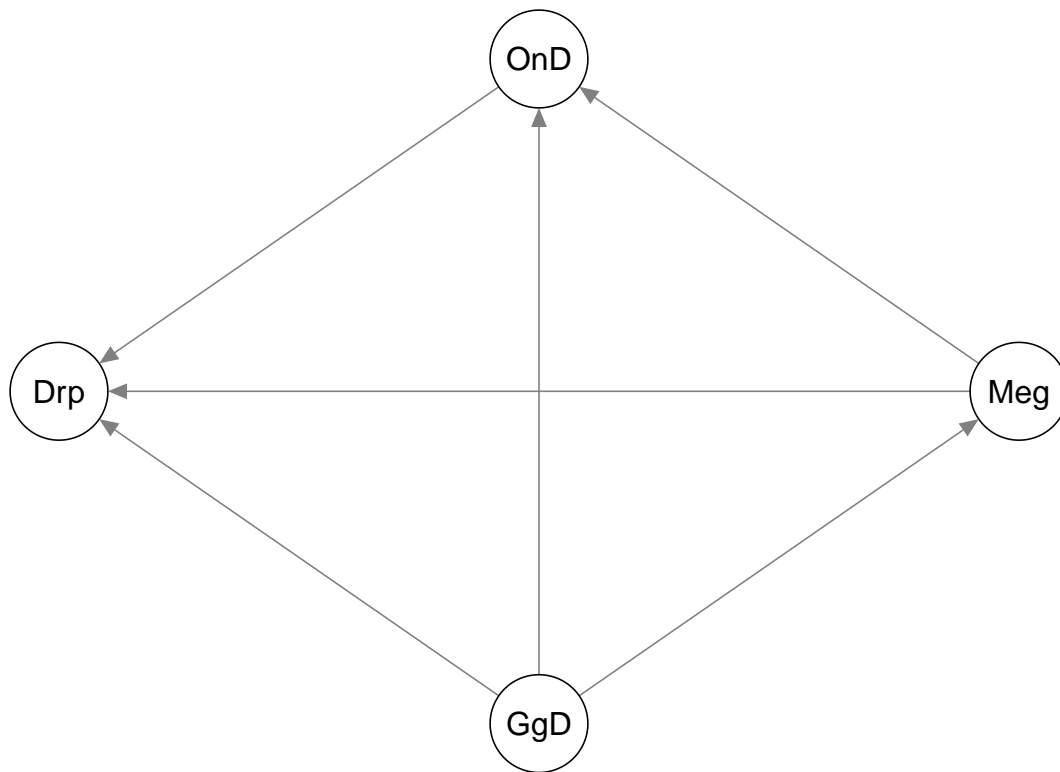


PROMETHEE I (medias)

```
tab.Pthee.i_med = multicriterio.metodo.promethee_i_med(matriz_decision,pesos_promethee,tab.fpref)
```



PROMETHEE II (medias)



Comparativa Promethee II: sin medias y con medias

[1] 1 4 3 2

[1] 1 4 3 2

Como conclusión podemos ordenar las alternativas en el siguiente orden que nos muestra de más óptima a menos:

GoogleDrive >> Mega >> OneDrive >> Dropbox

Es la misma ordenación independientemente de si es con medias o sin ellas. Obteniendo de nuevo que la mejor elección del proveedor para un buen almacenamiento en la nube para los estudiantes es Google Drive al igual que se concluía haciendo uso del método ELECTRE.

Resolución con Promethee Windows

| | Criterio1 | Criterio2 | Criterio3 | Criterio4 | Criterio5 |
|------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Preferencias | | | | | |
| Min/Max | max | min | max | max | max |
| Pesos | 0.370507609505196 | 0.0313526500998773 | 0.302195529725587 | 0.0848532754726438 | 0.211090935196696 |
| Funciones Preferencias | V-shape (3) | Linear (5) | U-shape (2) | Gaussian (6) | Level (4) |
| Q: Indiferencia | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| P: Preferencia | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| S: Gaussiano | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Estadísticas | | | | | |
| Minimo | 1 | -21 | 6 | 6 | 7 |
| Maximo | 20 | 0 | 9 | 10 | 12 |
| Media | 10.75 | -12.25 | 8 | 7.75 | 8.5 |
| Desviacion Tipica | 7.6 | 8.14 | 1.22 | 1.48 | 2.06 |
| Evaluaciones | | | | | |
| Google Drive | 16 | -21 | 9 | 10 | 12 |
| Dropbox | 1 | -10 | 8 | 6 | 7 |
| OneDrive | 6 | -18 | 9 | 7 | 8 |
| Mega | 20 | 0 | 6 | 8 | 7 |

| | Rango | Phi | Phi.mas | Phi.menos |
|--------------|-------|---------|---------|-----------|
| Google Drive | 1 | 0.5515 | 0.6750 | 0.1235 |
| Mega | 2 | -0.0051 | 0.4271 | 0.4322 |
| OneDrive | 3 | -0.1110 | 0.2734 | 0.3844 |
| Dropbox | 4 | -0.4354 | 0.1112 | 0.5466 |

Tabla Acciones

[1] "Google Drive" "Mega" "OneDrive" "Dropbox"

Con Promethee Windows obtenemos la siguiente ordenación:

GoogleDrive >> Mega >> OneDrive >> Dropbox

Conclusion

Defensa del Resultado Final: El análisis AHP favoreció a **Mega** (38.5%) al ser un método puramente compensatorio. Sin embargo, el análisis de robustez (ELECTRE) y el de equilibrio (PROMETHEE) son cruciales para la decisión final:

1. **Robustez (ELECTRE):** Confirma que **Google Drive** es la alternativa más **robusta** al ser la única que resiste el Umbral de Veto de Seguridad. Mega es penalizada por su baja seguridad.
2. **Equilibrio (PROMETHEE):** El Flujo Neto de PROMETHEE confirma que el equilibrio de Google Drive supera la ventaja unidimensional de Mega.

Conclusión Final: La alternativa óptima es **Google Drive**. Su consistencia en los métodos de sobreclasificación y su resistencia al riesgo la convierten en la opción más defendible para el perfil académico, priorizando el equilibrio y la seguridad sobre el rendimiento extremo pero inseguro de Mega.