

Tarea 1: Visualización de una red

Mariana Ayala Ochoa

Introducción

Las redes ecológicas permiten visibilizar cómo distintos componentes, especies, individuos o grupos funcionales, se vinculan a través de múltiples relaciones que pueden incluir colaboración, competencia, circulación de materia o intercambio de información (Strogatz, 2001). Incluso antes de que Ernst Haeckel introdujera el término “ecología” en 1869, diversas observaciones ya apuntaban a la existencia de estructuras relacionales complejas en la naturaleza. Por ejemplo, el científico, explorador y naturalista prusiano Alexander Von Humboldt en su obra seminal “Cosmos: ensayo de una descripción física del mundo”, señala “Poco a poco, el observador se da cuenta de que estos organismos están interconectados, no de forma lineal, sino que en una verdadera red enmarañada” (Von Humboldt 1845). Un poco más tarde, el naturalista británico Charles Darwin en “El origen de las especies por medio de la selección natural”, especulaba “Estoy tentado con dar un ejemplo más. Este ejemplo mostrará cómo las plantas y animales, pequeños en la escala de la naturaleza, están vinculados por una red de complejas relaciones” (Darwin 1859).

En este contexto, la construcción de una red “social” indirecta, en la que las aves, junto a mamíferos y reptiles, se vinculan a través del uso compartido de diversas especies de árboles, en las cuales ocupan sus cavidades, constituye una herramienta clave para comprender la dinámica de las comunidades cavícolas. Este enfoque permite no solo identificar patrones de asociación y solapamiento en el uso de cavidades, sino también reconocer aquellas especies que podrían enfrentar mayor competencia por recursos limitados y aquellas que cumplen un rol estructural dentro de la red ecológica. Así, el análisis de la red entrega una base cuantitativa para comprender la coexistencia de las especies, **prever posibles conflictos por cavidades** y apoyar acciones de conservación en los bosques templados andinos.

Procedencia de los datos

Desde el 2008, se han investigado los nidos en los bosques templados de la zona andina de la Región de La Araucanía. En esta zona se ha realizado la búsqueda y **monitoreo** de nido de aves y, eventualmente, mamíferos, en cavidades de árboles nativos **por más de 15 años**. Hasta la fecha se han encontrado casi 2000 “nidos” de **39 especies** que usan las cavidades para reproducirse o descansar (30 aves, 6 reptiles, 4 mamíferos) (ver tabla I en anexos), en **16 especies de árboles** identificadas y un grupo de árboles de especie desconocida (UKN), usualmente son árboles muy antiguos o muertos en pie, sin follaje ni corteza, lo cual dificulta su identificación.

Cada vez que se encuentra un nido en una cavidad se toman datos de la especie del ave, la especie del árbol y el estado en el que se encuentra el árbol, también se toman datos del origen de la cavidad (si es por descomposición o si fue excavada por alguna especie carpintera). El dato de la especie se codifica usando las 3 primeras letras del género más las tres primeras letras del epíteto específico del nombre científico y el estado de descomposición del árbol va desde 2A (un árbol bastante saludable) hasta el 8 (un árbol cortado o tocón).

Construcción de la red

La información recopilada permitió construir una red bipartita entre especies de vertebrados (aves, reptiles, pequeños mamíferos) y especies de árboles utilizadas como sitio de nidificación. En un sentido estricto, esta red corresponde a una red ecológica de interacción **ave-árbol**, ya que los enlaces representan el uso de un recurso (las cavidades presentes en distintas especies arbóreas) y no relaciones conductuales directas entre individuos de aves.

No obstante, a partir de la red bipartita fue posible generar una proyección unipartita sobre los vertebrados, en la cual dos especies quedan conectadas cuando utilizan las mismas especies de árboles. Esta proyección no constituye una red social en un sentido estricto, pero refleja asociaciones indirectas mediadas por los árboles. Sin embargo, este tipo de representación resulta útil para evaluar solapamientos de nicho, potencial competencia por cavidades y patrones de co-uso del hábitat, aportando así información clave sobre los mecanismos que median la coexistencia de las especies cavícolas en bosques templados andinos.

Red bipartita árbol-vertebrado

Para representar las interacciones entre vertebrados cavícolas y especies de árboles se construyó una red bipartita, en la cual los pequeños vertebrados se conectan únicamente con los árboles que utilizan como sitio de nidificación o descanso. Esta red se visualiza de dos maneras complementarias: por un lado, **mediante el formato clásico tipo *plotweb***, que organiza a las aves y árboles en dos niveles opuestos, facilitando la comparación de abundancias y vínculos (figura 1); y por otro, mediante la disposición con ***igraph* y el algoritmo Kamada-Kawai** (`layout_with_kk`), que distribuye los nodos según su conectividad, permitiendo apreciar con mayor claridad el agrupamiento de especies y los patrones de solapamiento en el uso de cavidades (figura 2).

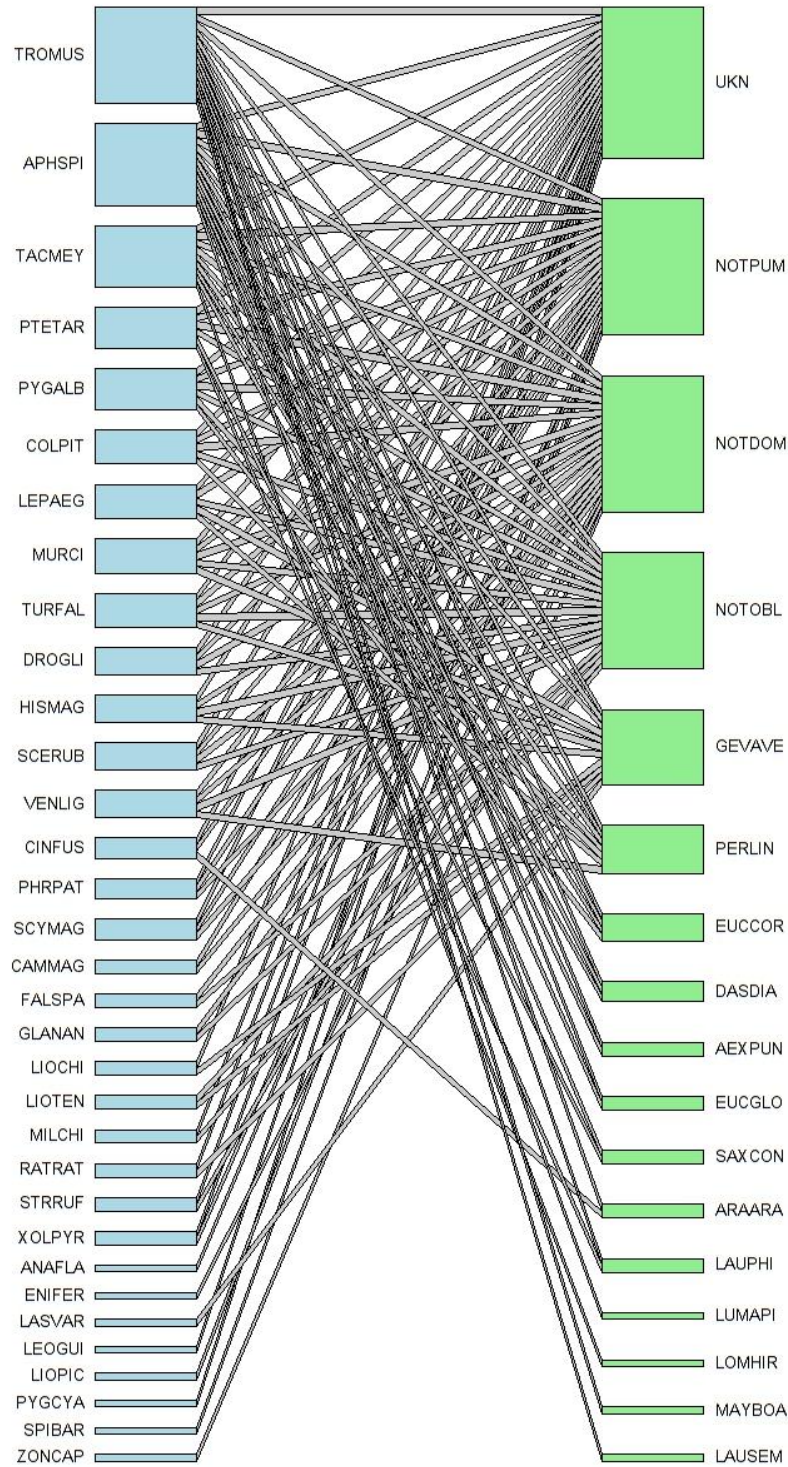


Figura 1. Red bipartita vertebrados - árboles en bosques templados andinos (visualización clásica tipo *plotweb*). En celeste los vertebrados que usan cavidades y el verde las especies de árboles. (para ver códigos de las especies, ir a tabla 1 en anexos).

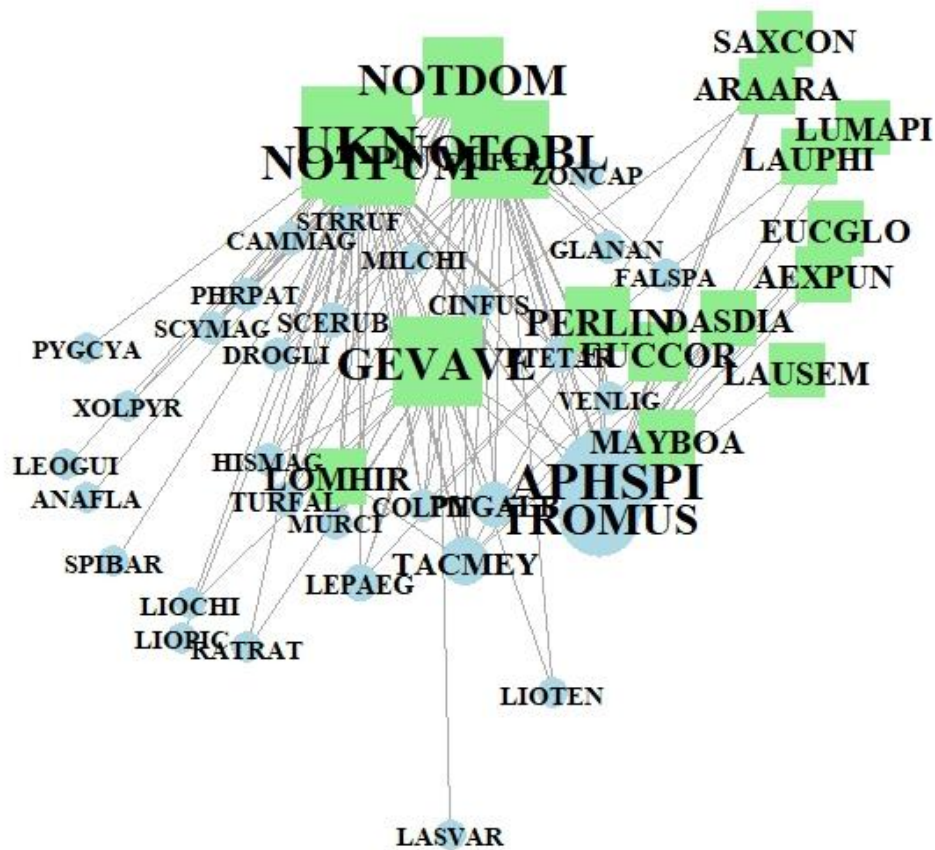


Figura 2. Red bipartita vertebrados - árboles en bosques templados andinos (disposición por conectividad con *igraph* y *layout_with_kk*). En círculos celestes los vertebrados que usan cavidades y en cuadrados verdes las especies de árboles. (para ver códigos de las especies, ir a tabla 1 en anexos). El tamaño del nodo es proporcional a la cantidad de registros por especie.

La red revela que unas pocas especies de árboles, principalmente *Nothofagus obliqua* (NOTOBL), *Nothofagus dombeyi* (NOTODOM) y *Nothofagus pumilio* (NOTOPUM), sostienen gran parte de la comunidad cavícola, concentrando la mayoría de los registros de nidificación. Dentro de las aves, se observa que especies como *Aphrastura spinicauda* (APHSPI), *Troglodytes musculus* (TROMUS) y en menor medida *Pygarrhyas albogularis* (PYGALB) desempeñan un rol central, actuando como generalistas y abundantes, al utilizar cavidades en múltiples especies de árboles. En contraste, otras aves como *Colaptes pitius* (COLPIT) o *Enicognathus ferrugineus* (ENIFER) muestran un uso más restringido de cavidades, lo que las caracteriza como especialistas. Esto tiene implicancias directas para la competencia por cavidades y subraya la importancia de conservar árboles clave en los bosques templados andinos, en particular aquellas especies del género *Nothofagus* que sustentan la mayor parte de estas interacciones.

Red social vertebrados

Para visualizar las asociaciones entre especies, se generó una red social de aves cavícolas a partir de la proyección de la red bipartita vertebrados-árboles. En esta red, cada nodo corresponde a una especie de vertebrado (aves, reptiles, pequeños mamíferos), mientras que las aristas representan el uso compartido de especies de árboles como recurso de nidificación.

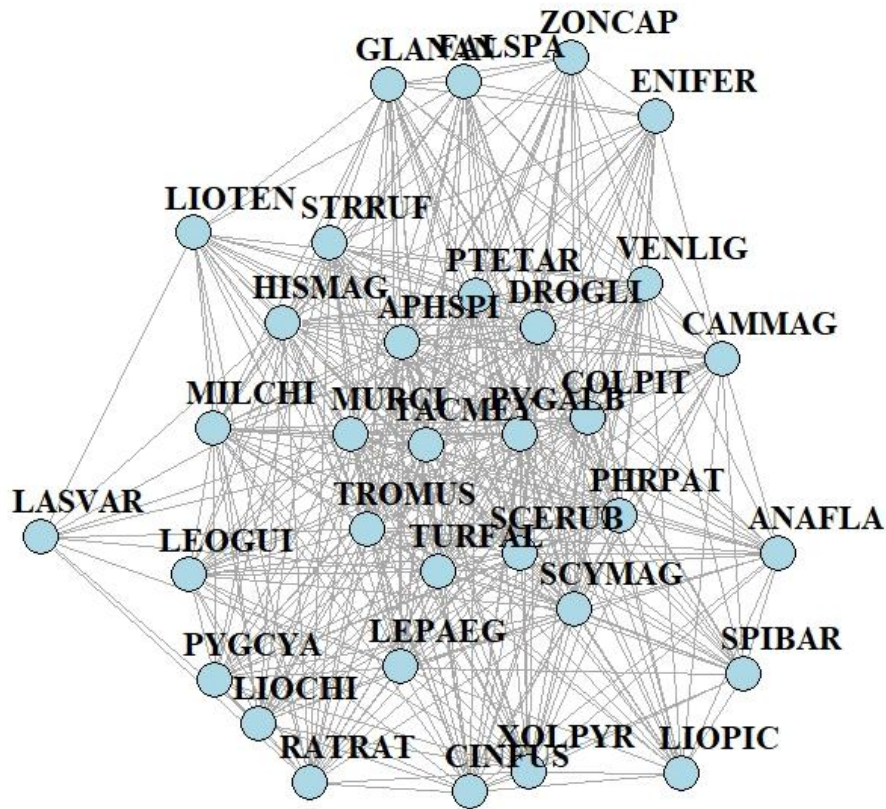


Figura 3. Red social de vertebrados (aves, reptiles, pequeños mamíferos) cavícolas basada en el uso compartido de especies de árboles.

La red social obtenida a partir de la proyección vertebrado-árbol muestra una estructura altamente conectada, evidenciando un fuerte solapamiento en el uso de cavidades. En el centro de la red destacan *Aphrastura spinicauda* (APHSPI), *Turdus falcklandii* (TURFAL), *Colaptes pitius* (COLPIT) y *Pygarrhynchus albogularis* (PYGALB), que aparecen como nodos de gran tamaño y con múltiples enlaces, lo que refleja su condición de especies abundantes y generalistas, capaces de utilizar cavidades en varias especies de árboles y compartir estos recursos con un amplio número de aves. En un nivel intermedio se encuentran especies como *Campephilus magellanicus* (CAMMAG), *Dryobates lignarius* (DRYLIG), *Phrygilus patagonicus* (PHRPAT) y *Scelorchilus rubecula*

(SCERUB), que presentan conectividad considerable, aunque menor que las especies centrales. Finalmente, en la periferia de la red se ubican especies como *Enicognathus ferrugineus* (ENIFER), *Enicognathus leptorhynchus* (ENILEP), *Spinus barbatus* (SPIBAR), *Falco sparverius* (FALSPA) y *Pygochelidon cyanoleuca* (PYGCYA), caracterizadas por un uso más restringido de cavidades y una menor abundancia relativa. En conjunto, la red refleja una comunidad en la que unas pocas especies (de aves específicamente) concentran la mayor parte de las conexiones, sugiriendo posibles escenarios de competencia intensa por cavidades y una mayor vulnerabilidad de las especies periféricas frente a cambios en la disponibilidad de árboles nativos.

Referencias

- Darwin, C., 1859. On the origin of species by means of natural selection, 1st ed. J. Murray, London, UK.
- Strogatz, S.H., 2001. Exploring complex networks. *Nature* 410, 268–276.
<https://doi.org/10.1038/35065725>
- Von Humboldt, A., 1845. *Kosmos, Entwurf einer physischen Weltbeschreibung* (4 volumes), 1st ed. J. G. Cotta, Stuttgart and Tübingen, Germany.

Anexos

Tabla I. Nombres de especies, códigos y grado de dependencia de cavidades en árboles por la comunidad de aves, mamíferos y reptiles que nidifican en cavidades en los bosques templados andinos de Sudamérica.

Especies		
Nombre científico	Nombre común en castellano	Código de especie
AVES		
Nidificador primario de cavidades		
<i>Dryobates lignarius</i> ^b	Carpinterito	DRYLIG
<i>Colaptes pitus</i>	Pitío	COLPIT
<i>Campephilus magellanicus</i>	Carpintero gigante	CAMMAG
<i>Pygarrhychas albogularis</i> ^b	Comesebo o tintika macho	PYGALB
Nidificador secundario de cavidades		
<i>Chloephaga poliocephala</i> ^a	Canquén o avutarda	CHLPOL
<i>Anas flavirostris</i>	Pato jergón chico	ANAFLA
<i>Daptrius chimango</i>	Tiuque o triuque	DAPCHI
<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo	FALSPA

<i>Enicognathus ferrugineus</i>	Cachaña	ENIFER
<i>Enicognathus leptorhynchus</i>	Choroy	ENILEP
<i>Tyto alba</i>	Lechuza blanca	TYTALB
<i>Bubo magellanicus</i>	Tucúquere	BUBMAG
<i>Strix rufipes</i>	Concón	STRRUF
<i>Glaucidium nana</i>	Chuncho o chucho	GLANAN
<i>Cinclodes fuscus</i>	Churrete acanelado	CINFUS
<i>Cinclodes patagonicus</i>	Churrete patagónico	CINPAT
<i>Aphrastura spinicauda</i>	Rayadito o tintika	APHSPI
<i>Leptasthenura aegithaloides</i>	Tijeral	LEPAEG
<i>Pterotochos tarnii</i>	Hued Hued del sur o gallareta	PTETAR
<i>Scelorchilus rubecula</i>	Chukao	SCERUB
<i>Scytalopus magellanicus</i>	Churrín del sur	SCYMAG
<i>Elaenia albiceps</i>	Fío fío	ELAALB
<i>Pyrope pyrope</i>	Diucón o Urko	PYRPYR
<i>Tachycineta leucopyga</i>	Golondrina chilena	TACLEU
<i>Pygocbelidon cyanoleuca</i>	Golondrina de dorso negro	PYGCYA
<i>Troglodytes musculus</i>	Chercán	TROMUS
<i>Turdus falcklandii</i>	Zorzal	TURFAL
<i>Zonotrichia capensis</i>	Chincol	ZONCAP
<i>Phrygilus patagonicus</i>	Cometocino patagónico	PHRPAT
<i>Spinus barbatus</i>	Jilguero	SPIBAR

MAMÍFEROS

<i>Dromiciops gliroides</i> ^b	Monito del monte	DROGLI
<i>Rattus rattus</i> ^d	Rata negra	RATRAT
<i>Histiotus magellanicus</i> ^b	Murciélago orejón austral	HISMAG
<i>Lasiurus varius</i> ^b	Murciélago peludo rojo	LASVAR
<i>Myotis chiloensis</i> ^b	Murciélago oreja de ratón del sur	MYOCHI
<i>Leopardus guigna</i> ^b	Güiña	LEOGUI

REPTILES

<i>Liolaemus chiliensis</i> ^b	Lagarto llorón	LIOCHI
<i>Liolaemus pictus</i> ^b	Lagartija pintada	LIOPIC
<i>Liolaemus tenuis</i>	Lagartija esbelta	LIOTEN

Código en R

```
library(readxl)
library(igraph)
library(bipartite)
```

```
rm(list = ls())
```

```
setwd("C:/Users/DCCS3/Documents/REDES SOCIALES")
```

```
#Base de datos
datos = read_excel("datos_red_nido.xlsx", na="NA")
datos = as.data.frame(datos)
```

```
# Filtrar para que sean solo aves
# filtronoaves = c("ANAFLA", "MURCI", "DROGLI", "LIOCHI", "LIOTEN",
"LEPEAG", "LASVAR", "LEOGUI", "LIOPIC", "RATRAT")

# datos = datos[!(datos$AVE %in% filtronoaves),]
```

```
#####
### RED DE VERTEBRADOS ###
#####
```

```
#Vector arboles contiene todos los posibles nombres de especies de arboles de la base de
datos.
```

```
arboles = unique(datos$ARBOL)
```

```
#Vector aves contiene todos los posibles nombres de especies de aves de la base de datos
```

```
aves = unique(datos$AVE)
```

```
# Matriz vacia para luego indicar conexiones
```

```
matriz = matrix(data = 0, nrow = length(aves), ncol = length(aves))
colnames(matriz) = aves
rownames(matriz) = aves
```

```
for (j in 1:length(arboles)) {
```



```

# Subconjunto de aves asociadas a este árbol
df = datos[ datos$ARBOL == arboles[j], ]
aves_en_arbol = unique(df$AVE)

# Todas las combinaciones de aves de a pares
if (length(aves_en_arbol) >= 2) {
  combinaciones = combn(aves_en_arbol, 2)

  for (k in 1:ncol(combinaciones)) {
    ave1 = combinaciones[1, k]
    ave2 = combinaciones[2, k]

    # Marcar relación en la matriz (simétrica)
    matriz[ave1, ave2] = 1
    matriz[ave2, ave1] = 1
  }
}

# Diagonal a 0 para no contar relaciones consigo mismas
diag(matriz) = 0

red <- graph_from_adjacency_matrix(matriz, mode = "undirected", diag = FALSE)

plot(red, layout = layout_with_kk,
     vertex.label.font=7,
     vertex.label.cex = 1,
     vertex.label.color = "black",
     vertex.color = "lightblue",
     vertex.size = 10,

```

```
vertex.label.dist = 2)
```

```
#####  
### Red con nodos de tamaño proporcional #####  
### al número de datos del mismo vertebrado ####  
#####
```

```
# Calcular el número de veces que cada especie de ave aparece en los datos
```

```
frecuencias_aves = table(datos$AVE)
```

```
# Normalizar las frecuencias para obtener un valor entre 1 y 50
```

```
tamanos_aves = (frecuencias_aves / sum(frecuencias_aves)) * 30 # 50 es el tamaño máximo  
de los vértices
```

```
# Obtener el tamaño de los nodos según la frecuencia normalizada
```

```
vertex_sizes = tamanos_aves[rownames(matriz)]
```

```
# Graficar la red
```

```
plot(red, layout = layout_with_kk,
```

```
  vertex.label.font=7,
```

```
  vertex.label.cex = 1,
```

```
  vertex.label.color = "black",
```

```
  vertex.color = "lightblue",
```

```
  vertex.size = vertex_sizes, # Usar los tamaños calculados
```

```
  vertex.label.dist = 2)
```

```
#####  
#### RED BIPARTITA ####  
#####
```

```
# Crear una matriz de adyacencia con filas para vertebrados y columnas para árboles
```

```
matriz_bipartita = matrix(0, nrow = length(aves), ncol = length(arboles))
```

```
rownames(matriz_bipartita) = aves
```

```
colnames(matriz_bipartita) = arboles
```

```
# Llenar la matriz con 1 si hay relación entre ave y árbol
```

```
for (j in 1:length(arboles)) {
```

```
  # Subconjunto de aves asociadas a este árbol
```

```
  df = datos[datos$ARBOL == arboles[j], ]
```

```
  aves_en_arbol = unique(df$AVE)
```

```
  for (ave in aves_en_arbol) {
```

```
    # Marcar la relación en la matriz (1 si ave está asociada al árbol)
```

```
    matriz_bipartita[ave, arboles[j]] = 1
```

```
  }
```

```
}
```

```
# Grafo bipartito: se indica que las dos partes son aves y árboles
```

```
red_bipartita <- graph_from_incidence_matrix(matriz_bipartita)
```

```
# Graficar la red bipartita
```

```
plot(red_bipartita,
```

```
  layout = layout_as_bipartite,
```

```
  vertex.label.font = 7,
```

```
  vertex.label.cex = 0.8,
```

```
  vertex.label.color = "black",
```

```
  vertex.color = c(rep("lightblue", length(aves)), rep("lightgreen", length(arboles))),
```

```

vertex.size = 5,
vertex.label.dist = 2,
vertex.label.degree = -pi/2,
asp = 0)

#####

## RED BIPARTITA VERTEBRADO-ARBOL IGRAPH ##

#####

ab_ave <- table(datos$AVE) # Cuenta cuántas veces aparece cada ave
ab_arbol <- table(datos$ARBOL) # Cuenta cuántas veces aparece cada árbol

# Obtener el vector de conteos para aves y árboles
ab_vec <- ifelse(V(red_bipartita)$type, ab_arbol[V(red_bipartita)$name],
ab_ave[V(red_bipartita)$name])
ab_vec[is.na(ab_vec)] <- 0

# Función de reescalado manual
rescale <- function(x, to = c(8, 28)) {
  r <- range(x, na.rm = TRUE)
  if (diff(r) == 0) return(rep(mean(to), length(x)))
  (x - r[1]) / diff(r) * diff(to) + to[1]
}

# Asignar tamaño de los vértices según los conteos
V(red_bipartita)$size <- ifelse(V(red_bipartita)$type, rescale(ab_vec, c(14, 34)),
rescale(ab_vec, c(8, 26)))
V(red_bipartita)$shape <- ifelse(V(red_bipartita)$type, "square", "circle")
V(red_bipartita)$color <- ifelse(V(red_bipartita)$type, "lightgreen", "lightblue")
V(red_bipartita)$frame.color <- NA
V(red_bipartita)$label <- V(red_bipartita)$name

```

```

V(red_bipartita)$label.cex <- rescale(V(red_bipartita)$size, to = c(0.7, 1.5))
V(red_bipartita)$label.color <- "black"
V(red_bipartita)$label.font <- 2

# Layout con Fruchterman-Reingold inicial, luego ajustando posiciones
set.seed(42)

coords0 <- layout_as_bipartite(red_bipartita, types = V(red_bipartita)$type) # aves/árboles
separados

coords_kk <- layout_with_kk(red_bipartita, coords = coords0, weights =
E(red_bipartita)$weight)

# Separar más aves abajo / árboles arriba
coords_kk[, 2] <- ifelse(V(red_bipartita)$type, coords_kk[, 2] + 1.8, coords_kk[, 2] - 1.8)
coords_kk <- coords_kk * 1.3
rownames(coords_kk) <- V(red_bipartita)$name

# Graficar
op <- par(mar = c(5, 3, 4, 3)) # Ajustar márgenes de la gráfica
plot(red_bipartita, layout = coords_kk)

#####
## BIPARTITA CON PLOTWEB ##
#####

plotweb(sortweb(matriz_bipartita, sort.order="dec"), text.rot = 90, method="normal",
col.high = "lightgreen", col.low = "lightblue")

```