INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS DEL ANÁLISIS DE REDES SOCIALES. CAPÍTULOS DÉCIMO Y DECIMOPRIMERO

Robert A. Hanneman. Departamento de Sociología de la Universidad de California Riverside.

NOTA PREVIA

Este documento esta traducido para la lista REDES con permiso del autor a partir de la versión electrónica disponible en http://wizard.ucr.edu/~rhannema/networks/text/textindex.html [Consulta: 20-02-02].

Estos capítulos han sido traducidos por René Ríos, Departamento de Sociología de la Universidad Católica de Chile.

CAPÍTULO X. EQUIVALENCIA AUTOMÓRFICA.

DEFINICIÓN

La definición de Equivalencia Automórfica es menos compleja que la de equivalencia estructural, pero algo más que la equivalencia regular. Hay una jerarquía de estos tres conceptos de equivalencia. Cualquier conjunto de equivalencias estructurales es también automórfico y regular. Cualquier conjunto de equivalencias automórficas lo es regular, Pero no toda equivalencia regular es necesariamente automórfica o estructural; y no todas las equivalencias automórficas son necesariamente estructurales.

Formalmente, "dos vértices u y v de un grafo etiquetado G son automórficamente equivalentes si todos los vértices pueden ser re etiquetados para formar un grafo isomórfico con las etiquetas de u y ve intercambiadas. Dos vértices automórficamente equivalentes comparten exactamente las misma propiedades independientes de rótulo. (Borgatti, Everett y Freeman, 1996: 119).

De un modo más intuitivo, son actores automórficamente equivalentes, si podemos permutar el grafo de manera tal que el intercambiar los dos actores no tiene efectos en las distancias entre todos los actores del grafo. Para establecer su equivalencia automórfica podemos primer imaginar el cambiar sus posiciones en la red. Luego miramos y vemos si, al cambiar a algún otro actor, podemos crear un grafo en el cual todos los actores están a la misma distancia a la que estaban en el grafo original.

En el caso de la equivalencia estructural, dos actores son equivalentes si podemos intercambiarlos y no afectar las propiedades del grafo. Los actores automórficamente equivalentes son actores que pueden ser intercambiados sin efecto en el grafo, dado que otros actores también han sido movidos. Si aún no le queda claro el concepto, no desespere, continúe la lectura y vuelva a la definición después de ver algunos ejemplos.

USOS DEL CONCEPTO

La equivalencia estructural enfoca nuestra atención a la comparación pareada de actores. al tratar de encontrar actores que pueden ser enrocados, estamos en realidad mirando las posiciones de los actores en una red en particular. Estamos tratando de encontrar actores que son clones de substitutos.

La equivalencia automórfica comienza por cambiar el foco de nuestra atención, llevándonos hacia una visión más abstracta de la red que las posiciones individuales. Se pregunta si toda la red puede ser reordenada, poniendo a distintos actores en diferentes nodos, pero dejando la estructura relacional, o esqueleto de la red intactos.

Supongamos que hay diez trabajadores en un restaurante franquiciado, como MacDonald´s, que reportan a un gerente. Este a su vez reporta al dueño de la franquicia que controla otro restaurante franquiciado. También tiene un gerente y 8 trabajadores. Si el propietario decide transferir al gerente del primer restaurante al segundo y viceversa, la red ha sufrido una disrupción. Pero si el gerente transfiere a los gerentes y a los trabajadores, la red permanece intacta. La transferencia es una permutación en el grafo que deja todas las distancias entre el par de actores exactamente como estaba antes de la transferencia. En este sentido, el personal de un restaurante es equivalente al del otro, aunque las personas individuales no sean sustituibles.

El ejemplo hipotético de los restoranes ilustra la principal utilidad del concepto de equivalencia automórfica. En vez de preguntarse qué individuos pueden ser intercambiados sin modificar las relaciones sociales descritas por el grafo (equivalencia estructural), el concepto, algo más relajado de equivalencia automórfica enfoca la atención hacia conjuntos de actores que son sustituíbles como sub grafos, en relación a otros subgrafos. En muchas estructuras sociales, puede haber muchas sub estructuras que son equivalentes a otras. El número, tipo, y relaciones entre tales subestructuras pueden ser bastante intersantes. Muchas estructuras que se ven muy grandes y complejas, pueden estar compuestas, al menos parcialmente, de múltiples subestructuras idénticas; las que pueden ser sustitutas de otras. De hecho si un MacDonald´s es un MacDonald´s, es un MacDonal´s...

LA BÚSQUEDA DE CONJUNTOS EQUIVALENTES

En principio, se pueden identificar los automorfismo en un grafo, por el método de la fuerza bruta consistente en examinar toda posible permutación del grafo. Con uno pequeño, y un computador rápido, es útil hacerlo así. Básicamente, se examina toda permutación posible para ver si tienen la misma estructura de vínculos que el grafo original. Para grafos más grandes el número de permutaciones que requieren ser comparadas se vuelve extremadamente grande. Para los grafos de muchas redes reales, no los ejemplos soñados por los teóricos, puede no haber automorfismos exactos. Para grafos complicados, y particularmente para grafos dirigidos o valorados, la cantidad de capacidad computacional requerida puede ser abrumadora y se puede asegurar queno habrá mas que unas pocas equivalencias si las hay.

Al igual que con la equivalencia estructural, puede ser útil identificar automorfismos aproximados, los que pueden surgir cuando la medición de relaciones contiene errores, cuando la variabilidad muestral ofrece un cuadro incompleto de la red o cuando las relaciones que generan una red no está en equilibrio, es decir cuando los procesos de transitividad y balance no están completos cuando se colecta los datos. O, por supuesto, puede darse el caso de que en una red exista verdaderamente un conjunto de actores que son similares entre sí, pero no exactamente equivalentes. UCINET provee diversos enfoques para identificar conjuntos de actores que son aproximadamente equivalentes automórficamente.

La equivalencia geodésica se enfoca en la similitud de los perfiles de las distancias geodésicas de un actor con otros. La idea puede ser aplicada a datos dirigidos o no dirigidos y para datos binarios o valorizados. Primero se calcula la matriz de distancia geodésica. Segundo, el vector de distancia geodésica de cada actor es extraída y los elementos se ordenan. Tercero, se calcula para los vectores ordenados, la medida de disimilaridad de distancia euclidiana. La resultante matriz de distancia sintetiza la disimilitud por pares en el perfil de distancias geodésicas del actor. El elemento clave aquí es que se trata de la comparación entre dos actores, del perfil de distancias geodésicas y no de las distancias geodésicas dirigidas a los mismos receptores. En tanto ambos actores tengan la misma mezcla de distancias geodésicas, serán equivalentes.

Una vez que la matriz de disimilitudes ha sido generada, se pueden usar análisis de conglomerados o escalamiento dimensional para identificar particiones de actores aproximadamente equivalentes.

El algoritmo maxsim de UCINET es una extensión del enfoque de equivalencia geodésica, que es particularmente útil para datos orientados y valorizados. El algoritmo comienza con una matriz de distancia (o con una concatenación de distancias desde y de distancia a, para datos direccionados). Las distancias de cada actor se ordenan de menor a mayor y la distancia euclidiana se usa para calcular la disimilaridad de perfiles de distancia entre cada par de actores. El algoritmo puntúa como automórficamente equivalentes a los actores que tienen perfiles similares de distancia. Nuevamente, el foco radica en saber si el actor u tienen un conjunto similar de distancias, sin importar las distancias, con el actor v. El escalamiento dimensional o aglomeración de distancias se pueden usar para identificar conjuntos de actores aproximadamente automórficamente equivalentes.

Búsqueda tabú, es un método numérico para encontrar la mejor división de actores en un número dado de particiones sobre la base de la equivalencia automórfica aproximada. Al usar este método, es importante explorar el rango de posibles números de particiones, a no ser que se disponga de uno a priori por la teoría, para determinar cuántas particiones son útiles. Una vez seleccionado el número de particiones es útil reiterar el algoritmo varias veces para asegurarse que se ha encontrado un mínimo global y no uno local.

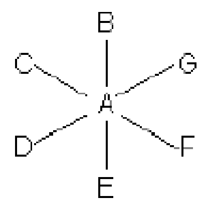
El método comienza con la asignación estocástica de particiones. Una medida de maldad de ajuste se construye calculando la suma de cuadrados para cada fila y columna dentro de un bloque y la varianza de esas sumas de cuadrados. Estas varianzas se suman luego a través de los bloques para construir una medida de bondad de ajuste. La búsqueda continúa hasta encontrar una asignación de actores a particiones que minimice el estadístico de maldad de ajuste.

Lo que se está minimizando es una función de la disimilaridad de la varianza de puntajes dentro de las particiones. Esto es, el algoritmo busca agrupar juntos a actores que tienen similares cantidades de variabilidad en sus puntajes de filas y columnas en los bloques. Los actores que tienen una variabilidad similar es probable que tengan perfiles similares de vínculos enviados y recibidos dentro y entre bloques, aunque no necesariamente tienen los mismos vínculos con los mismos otros actores.

Al revés de otros métodos mencionados aquí, la búsqueda tabú, produce una matriz particionada, y no un matriz de disimilaridades. También provee de un estadístico de maldad de ajuste. Ambos resultados hacen recomendable este enfoque quizás combinado con otros métodos.

ALGUNOS EJEMPLOS

La red estrella analizada por distancia geodésica.



Sabemos que a partición {A}, {B,C,D,E,F,G} define conjuntos estructuralmente equivalentes. Por consiguiente, esta es también una partición automórfica. Aunque este sea un resultado obvio, sirve como ejemplo para comprender los algoritmos necesarios para identificar equivalencias automórficas. El resultado del algoritmo de equivalencia geodésica de UCINET para identificar conjuntos de equivalencia automórfica es el siguiente:

```
GEODESIC EQUIVALENCE
Node by pathlength frequency matrix
        1    2
        --- ---
1       6       0
2       1       5
3       1       5
4       1       5
5       1       5
6       1       5
7       1       5
```

Comentario: Los actores están listados en las filas, el número de sus geodésicas de distintas longitudes están en las columnas.

```
Geodesic Equivalence Matrix (dissimilarities)
        1    2    3    4    5    6    7
     ---- ---- ---- ---- ---- ---- ----
  1  0.00 7.07 7.07 7.07 7.07 7.07 7.07
  2  7.07 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
  3  7.07 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
  4  7.07 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
  5  7.07 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
  6  7.07 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
  7  7.07 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
```

Nota: Las disimilaridades están medidas como distancias euclidianas.

```
HIERARCHICAL CLUSTERING OF (NON-)EQUIVALENCE MATRIX
Level   1 2 3 4 5 6 7
-----   - - - - - - -
0.000   . XXXXXXXXXXX
7.071   XXXXXXXXXXXXX
```

Nota: La aglomeración de distancias claramente divide en dos conjuntos, centro y periferia.

LA RED LINEAL ANALIZADA CON MAXSIM

La red lineal es interesante por las divergencias entre centralidades y grado de intermediación de los actores.

A —— B —— C —— D —— E —— F —— G

Este es el producto del algoritmo Maxsim de UCINET (nodo 1 = "A", nodo 2 ="B", etc.)

```
AUTOMORPHIC EQUIVALENCE VIA MAXSIM

NOTA: Binary adjacency matrix converted to reciprocals of geodesic distances.  Matriz binaria de adyacencia convertida a recíprocos de distancias geodésicas.
```

Comentario: Maxsim es mas útil con datos valorizados, de modo que se analizan las recíprocas de las distancias en vez de las adyacencias.

DISTANCIAS ENTRE ACTORES

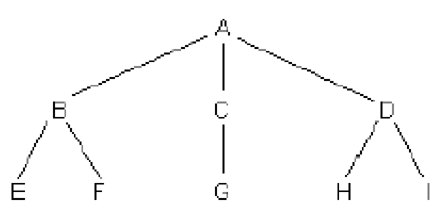
```
  1    2    3    4    5    6    7
---- ---- ---- ---- ---- ---- ----
1 0.00 3.22 3.62 3.73 3.62 3.22 0.00
2 3.22 0.00 1.16 1.37 1.16 0.00 3.22
3 3.62 1.16 0.00 0.50 0.00 1.16 3.62
4 3.73 1.37 0.50 0.00 0.50 1.37 3.73
5 3.62 1.16 0.00 0.50 0.00 1.16 3.62
6 3.22 0.00 1.16 1.37 1.16 0.00 3.22
7 0.00 3.22 3.62 3.73 3.62 3.22 0.00
```

```
HIERARCHICAL CLUSTERING OF (NON-)EQUIVALENCE MATRIX
Level 4 5 3 2 6 1 7
----- - - - - - - -
0.000 . XXX XXX XXX
0.500 XXXXX XXX XXX
1.212 XXXXXXXXX XXX
3.383 XXXXXXXXXXXXX
```

Comentario: La aglomeración primero separa como equivalentes, el conjunto de los dos actores de las puntas, luego el siguiente para hacia adentro, el siguiente y el centro. Analice Ud. mismo para convencerse de que este es un automorfismo válido, y de hecho exacto, de este grafo.

LA RED DE WASSERMAN-FAUST ANALIZADA POR TODAS LAS BÚSQUEDAS DE PERMUTACIONES

El grafo presentado por Wasserman y Faust es ideal para ilustrar las diferencias entre las equivalencias estructurales, automórficas y regular. Antes de mirar los resultados, vea si puede escribir cuales son las posiciones automórficamente equivalentes en esta red.



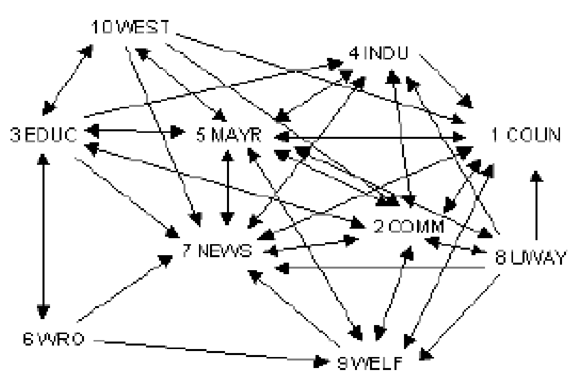
He aquí el producto del examen de UCINET para todas las permutaciones de este grafo.

```
AUTOMORPHIC EQUIVALENCE VIA DIRECT SEARCH

Number of permutations examined: 362880

Number of automorphisms found: 8

Hit rate: 0.00%

ORBITS:

Orbit #1: 1 (i.e. actor A)

Orbit #2: 2 4 (i.e. actors B and D)

Orbit #3: 3 (i.e. actor C)

Orbit #4: 5 6 8 9 (i.e. actors E, F, H, and I)

Orbit #5: 7 (i.e. actor G)
```

Comentario: El algoritmo examinó más de trescientos mil posibles permutaciones del grafo. Vemos que dos de las ramas (B,E, F y D,H,I) son intercambiables como subestructuras completas.

La red de intercambio de información entre burocracias de Knoke, analizada con búsqueda TABU.

Ahora examinaremos datos más complejos. En los datos de información de Knoke no hay automorfismos exactos, lo que no es sorprendente dada la complejidad del patrón de conexiones, particularmente si distinguimos entre vínculos entrantes y salientes (emisores y receptores).



Al igual que con la equivalencia estructural, puede ser útil examinar aproximada equivalencia automórfica. Para ello es útil el algoritmo de búsqueda TABU. Seleccionamos el número de particiones a evaluar y el programa busca encontrar el error mínimo al agrupar los casos.

He aquí los resultados del análisis de los datos de Knoke con el algoritmo de búsqueda TABU de UCINET. Primer examinamos la bondad de ajuste de diferentes números de particiones de los datos.

Partitions	Fit
1	11.970
2	21.132
3	16.780
4	15.965
5	14.465
6	13.563
7	10.367
8	9.521
9	1.500
10	0.000

Comentario: No hay una respuesta correcta acerca de cuántos automorfismo hay aquí. Hay dos respuestas triviales: aquella que agrupa todos los casos juntos en una partición y aquella que separa cada caso en su propia partición. Entre medio uno podría seguir la lógica del gráfico "scree" del análisis factorial para seleciconar un número significativo de particiones. Miremos primero los resultados para tres particiones:

```
AUTOMORPHIC BLOCKMODELS VIA TABU SEARCH
Diagonal valid?          NO
Use geodesics?           YES
Fit: 16.780
Block Assignments:
    1:  COUN COMM EDUC INDU NEWS UWAY WELF WEST
    2:  WRO
    3:  MAYR
Blocked Distance Matrix
                    1
          1 2 3 4 0 8 7 9   6   5
          C C E I W U N W   W   M
        --------------------------
  1 COUN |   1 2 2 2 2 1 1 | 3 | 1 |
  2 COMM | 1   1 1 2 1 1 1 | 2 | 1 |
  3 EDUC | 2 1   1 1 2 1 2 | 1 | 1 |
  4 INDU | 1 1 2   2 2 1 2 | 3 | 1 |
 10 WEST | 1 1 1 2   2 1 2 | 2 | 1 |
  8 UWAY | 1 1 2 1 2   1 1 | 3 | 1 |
  7 NEWS | 2 1 2 1 2 2   2 | 3 | 1 |
  9 WELF | 2 1 2 2 2 2 1   | 3 | 1 |
        --------------------------
  6  WRO | 3 2 1 2 2 3 1 1 |   | 2 |
        --------------------------
  5 MAYR | 1 1 1 1 1 1 1 1 | 2 |   |
        --------------------------
```

Comentario: Las filas y columnas de WRO tiene varianzas similares (altas), y las filas y columnas de MAYR tienen similares varianzas (bajas). Pareciera que el algoritmo ha funcionado bien al dividir la matriz en bloques de modo que produzca filas y columnas con similar varianza dentro de los bloques. Una visión bastante simple, pero no tan cruda, de los datos es que el MAYR y el WRO son bastante únicos, y tienen relaciones similares con actores más o menos intercambiables en el resto del grupo grande.

Por supuesto que, con más particiones, podemos lograr mejor bondad de ajuste. Los analistas tendrán que ejercer su propio juicio, dados los objetivos de su estudio, acerca de si un mejor ajuste significa un mejor modelo o tan sólo uno que es más complicado. He aquí el resultado para siete particiones:

```
AUTOMORPHIC BLOCKMODELS VIA TABU SEARCH
Diagonal valid?          NO
Use geodesics?           YES
Fit: 10.367
Block Assignments:
    1:  COUN INDU NEWS WELF
    2:  WRO
    3:  UWAY
    4:  EDUC
    5:  COMM
    6:  WEST
    7:  MAYR
Blocked Distance Matrix
                                      1
           1 7 9 4   6   8   3   2   0   5
           C N W I   W   U   E   C   W   M
          ------------------------------------
  1 COUN |   1 1 2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
  7 NEWS | 2   2 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
  9 WELF | 2 1   2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
  4 INDU | 1 1 2   | 3 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
          ------------------------------------
  6  WRO | 3 1 1 2 |   | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 |
          ------------------------------------
  8 UWAY | 1 1 1 1 | 3 |   | 2 | 1 | 2 | 1 |
          ------------------------------------
  3 EDUC | 2 1 2 1 | 1 | 2 |   | 1 | 1 | 1 |
          ------------------------------------
  2 COMM | 1 1 1 1 | 2 | 1 | 1 |   | 2 | 1 |
          ------------------------------------
 10 WEST | 1 1 2 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |   | 1 |
          ------------------------------------
  5 MAYR | 1 1 1 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |   |
          ------------------------------------
```

Comentario: En este caso, particiones adicionales de los datos dan por resultado la separación adicional de actores individuales en torno a un centro más grande. Lo cual no es necesariamente el caso, pues podrían haber resultado facciones o divisiones de particiones, así como la separación de actores individuales. Nos queda una visión de la red como una en la que hay un núcleo con cerca de la mitad de los actores que son más o menos sustituibles en sus relaciones con otras posiciones, seis, en el resultado mostrado.

RESUMEN CAPÍTULO X

En un sentido, el tipo de equivalencia expresada bajo la noción de automorfismo cae entre la equivalencia estructural y la regular. La estructural significa que los actores individuales pueden ser sustituidos unos por otros. La automórfica que las subestructuras de los grafos se pueden sustituir. Como veremos a continuación, la equivalencia regular va aún más allá, y busca lidiar con clases o tipos de actores, en que cada miembro de cualquier clase tiene relaciones similares con algún miembro de cada una de las otras.

La noción de equivalencia estructural corresponde bien con los análisis enfocados en la manera que los individuos están imbricados en las redes, o análisis reticular posicional. La noción de equivalencia regular enfoca la atención en clases de actores, o roles, más que en individuos o grupos. El análisis de equivalencias automórfica está entre estos focos más convencionales y no ha recibido aún mucha atención en la investigación empírica. Con todo, la búsqueda de subestructura de sustitución múltiple en grafos, particularmente en grandes y complejos, puede revelar que la complejidad de estructuras muy grandes es más aparente que real; a veces son descomponibles, al menos parcialmente, en similares múltiples estructuras mas pequeñas.

CAPÍTULO XI. EQUIVALENCIA REGULAR

DEFINICIÓN

La equivalencia regular es la menos restrictiva de las tres definiciones más comúnmente usadas. Es, sin embargo, la más importantes para el sociólogo. Esto porque el concepto de equivalencia regular y los métodos empleados para identificar y describir los conjuntos equivalentes se corresponden cercanamente con el concepto sociológico de rol. La noción de roles sociales es central en la mayoría de las teorizaciones sociológicas.

Formalmente, "dos actores son regularmente equivalentes si están igualmente relacionados con otros equivalentes (Borgatti, Everett y Freeman, 1996: 128). Los conjuntos regularmente equivalentes están compuestos por actores que tienen similares relaciones con miembros de otros conjuntos de equivalentes regulares. El concepto no se refiere a vínculos con otros actores específicos, o a la presencia de sub grafos similares; los actores son regularmente equivalentes si tienen lazos similares con cualquier otros miembros de otros conjuntos.

El concepto es más fácil de captar intuitivamente que formalmente. Susan es la hija de Inga. Debora es la hija de Sally. Susan y Debora forman un conjunto regularmente equivalente porque cada una tiene un vínculo con un miembro de otro conjunto. Inga y Sally forman un conjunto porque cada una tiene un vínculo con un miembro de otro conjunto. En lo referido a la equivalencia regular no nos interesa qué hija va con cuál madre; lo que es identificado por la equivalencia regular es la presencia de dos conjuntos (que podemos rotular madres e hijas), cada uno definido en su relación con el otro conjunto. Las madres son madres porque tienen hijas, las hijas lo son porque tienen madres.

USOS DEL CONCEPTO

La mayoría de las aproximaciones a posiciones sociales las definen relacionalmente. Para Marx, los capitalistas pueden existir si hay trabajadores y viceversa. Los dos roles son definidos por la relación entre ellos, (i.e. los capitalistas expropian plusvalía de la fuerza de trabajo de los trabajadores). Esposos y esposas; hombres y mujeres; minorías y mayorías; castas altas y bajas; y la mayoría de otros roles se definen relacionalmente.

El enfoque de equivalencia regular de una red se puede usar entonces para ubicar y definir la naturaleza de los roles por sus patrones de relación. La relación entre roles que el análisis de equivalencia regular hace patente y las percepciones de los actores o la denominación de sus roles, pueden ser problemáticos. Lo que los actores rotulan con nombres de roles y las expectativas (o normas que van con los roles) resultantes que tienen hacia ellos pueden influir pero no determinar completamente los patrones reales de interacción. Estos a su vez, son regularidades de las cuales emergen roles y normas.

Estas ideas están en el núcleo de la perspectiva sociológica: de la interacción surgen la cultura y las normas y roles que restringen la interacción. La identificación y definición de roles por medio del análisis de equivalencia regular en datos reticulares es posiblemente el desarrollo intelectual más importante del análisis de redes sociales.

EL HALLAZGO DE CONJUNTOS EQUIVALENTES

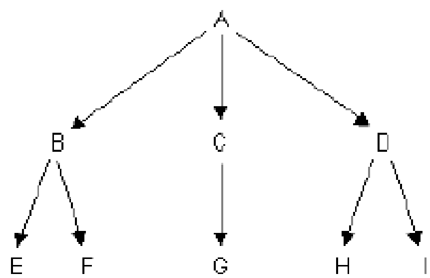
La definición formal postula que dos actores son regularmente equivalentes si tienen un patrón similar de vínculos con otros que a su vez son equivalentes entre sí. Consideremos a dos hombres. Cada uno tiene hijos, aunque en números diferentes. Tienen una esposa, cada una de ellas a su vez, tienen hijos y un marido, es decir tiene vínculos con todos y cada uno de los miembros de esos conjuntos. Cada hijo tiene vínculos con uno o más miembros del conjunto esposos y esposas.

Al identificar qué actores son maridos no nos interesan los vínculos entre miembros de este conjunto, de hecho esperaríamos que este bloque fuese cero. Lo que es importante es que cada marido tenga al menos un vínculo con una persona en la categoría esposa y al menos uno en la categoría hijo. Los maridos son equivalentes entre sí porque tienen vínculos similares con miembros de los conjuntos esposas e hijos.

Pero pareciera haber un problema con esta bastante simple definición. Si la definición de cada posición depende de su relación con otras posiciones, ¿por dónde se parte?

Hay varios algoritmos que ayudan a identificar conjuntos regularmente equivalentes. UCINET provee algunos métodos que son particularmente útiles para ubicar actores aproximadamente equivalentes en grafos valorados, multirelacionales y orientados. Algunos métodos más simples para datos binarios se pueden ilustrar directamente.

Consideremos una vez más, la red en el ejemplo de Wasserman-Faust. Supongamos que es una imagen de una jerarquía simple de comando. Todos los vínculos están dirigidos desde lo alto del diagrama hacia abajo. Encontraremos una caracterización de equivalencia regular de este diagrama.



Primero, caracterizamos cada posición como una fuente (un actor que envía vínculos, pero que no los recibe), un repetidor (un actor que recibe y envía) y un sumidero (un actor que recibe pero que no envía). La fuente es A, los repetidores son B,C y D y los sumideros son E,F,G,H e I. Hay una cuarta posibilidad lógica. Un aislado es un nodo que ni envía ni recibe vínculos. Los aislados forman un conjunto con equivalencia regular en cualquier red, y deberían ser excluidos del análisis de equivalencia de un sub grafo conectado.

Dado que hay un solo actor en el conjunto de emisores o fuente, no podemos identificar ninguna complejidad adicional en dicho rol. Consideremos los tres repetidores (B,C y D). En el vecindario (esto es adyacente con) del actor B hay tanto fuentes como sumideros. Lo mismo es válido para los otros repetidores, aunque los tres actores pueden tener distintos números de fuentes y sumideros y estos pueden ser a su vez diferentes fuentes o sumideros específicos (o los mismos). No podemos definir más el rol de este conjunto {B,C,D} porque hemos agotado sus vecindarios. Es decir, las fuentes a las cuales están conectados los repetidores no pueden ser mayormente diferenciadas en múltiples tipos, puesto que hay sólo una fuente; los sumideros a los que los repetidores emiten no pueden ser adicionalmente diferenciados porque no tienen más conexiones.

Ahora consideremos a los terminales (los actores E,F,G,H e I). Cada uno está conectado a una fuente (que son distintas). Hemos establecido que, en este caso, todas las fuentes (B,C y D) son regularmente equivalentes. De modo que E e I, están equivalentemente conectados a otros equivalentes. Con eso termina la partición.

El resultado de la partición [A], [B,C,D],, [E,F,G,H,I] satisface la condición de que cada actor en cada partición tenga el mismo patrón de conexión con actores de otras particiones. La matriz de adyacencia permutada se ve así:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	---	1	1	1	0	0	0	0	0
B	0	---	0	0	1	1	0	0	0
C	0	0	---	0	0	0	1	0	0
D	0	0	0	---	0	0	0	1	1
E	0	0	0	0	---	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	---	0	0	0
G	0	0	0	0	0	0	---	0	0
H	0	0	0	0	0	0	0	---	0
I	0	0	0	0	0	0	0	0	---

Es útil hacer bloques en la matriz para mostrar su imagen. Aquí, sin embargo, usaremos algunas reglas especiales para determinar los bloques con 0 y con 1. Si un bloque está compuesto por puros 0, será un bloque 0. Si cada actor en una partición tienen un vínculo con cualquier actor de otro bloque, definiremos el bloque conjunto como un bloque 1. La imagen usando esta regla es:

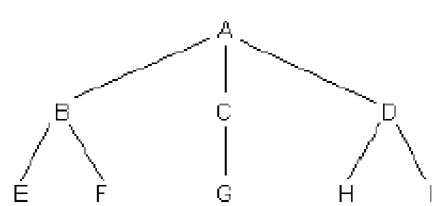
	A	B,C,D	E,F,G,H,I
A	---	1	0
B,C,D	0	---	1
E,F,G,H,I	0	0	---

A emite a uno o más del BCD pero a ninguno del EFGHI. BCD no envía a A, pero cada uno de BCD envía al menos uno a EFGHI. Ninguno de EFGHI envía a alguno de A o de BCD. Esta imagen, de hecho, despliega el patrón característico de una jerarquía estricta: unos en el vector en la primera diagonal (hacia arriba de la diagonal principal) y ceros en todos los demás. La regla para definir un bloque 1 cuando cada actor es una partición tiene un vínculo con un actor en otra partición es una manera de operacionalizar la noción de que los actores del primer conjunto son equivalentes si están conectados con actores equivalentes entre sí, en la otra partición, sin que se requiera, o se impida, que estén vinculados a los mismos otros actores. Esta regla de imagen es la base para el algoritmo de búsqueda tabú. La búsqueda en el vecindario, es la base para el enfoque REGE para datos categóricos (discusión y ejemplos más abajo).

Para resumir: comenzamos una búsqueda en el vecindario caracterizando a cada actor como fuente, repetidor, terminal o aislado. Examinando cada categoría, determinamos que tipos de actores hay en cada vecindario de cada uno de los actores en las particiones iniciales. Si el tipo de actores presente en cada vecindario son los mismos, hemos terminado y podemos ir hacia el próximo grupo inicial; si los actores tienen distinta composición vecindaria, podemos subdividirlos repetir el proceso. En principio, la búsqueda de vecindario continuará hacia afuera para cada actor hasta que las trayectorias de todas las longitudes se hayan examinado. En la práctica, los analistas no van más allá de 3 pasos. Para la mayoría de los casos, las diferencias en la composición del vecindario de un actor que está más distante que 3, no son sustantivamente importantes.

La regla de búsqueda en vecindario trabaja bien para datos binarios orientados. Se puede extender a valores integrales y datos multirelacionales (algoritmo categorial REGE). Si la fuerza de los lazos dirigidos se ha medido (o si uno usa la recíproca de la distancia geodésica entre actores como proxy de su fuerza de vínculo), el algoritmo continuo REGE se puede aplicar para reponderar iterativamente en la búsqueda vecinal para identificar actores aproximadamente equivalentes.

Muchos datos de redes muestran lazos no dirigidos. Esto hace problemática la aplicación de algoritmos de equivalencia regular. Consideremos la red de Wasserman-Faust en su forma no orientada.

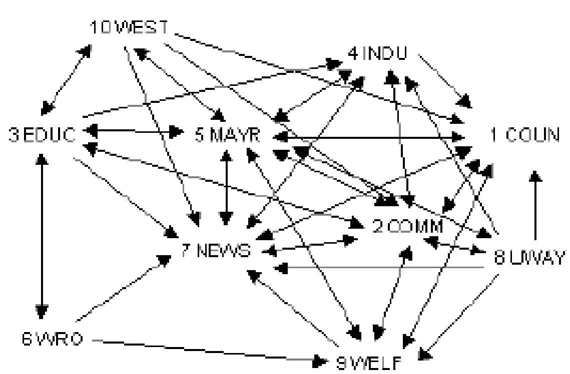


Si no se dispone del direccionamiento, no podemos dividir los datos en fuentes, repetidores y terminales, de modo que la idea de búsqueda vecinal se diluye. En este caso tiene más sentido examinar la matriz de distancias geodésicas, en vez de la matriz de adyacencia. Entonces se puede usar REGE categorial, que trata cada valor de distancia geodésica como un vecindario cualitativamente diferente. O, se puede usar REGE continuo, probablemente una opción más razonable, considerando el inverso de la distancia como una medida de la fuerza del vínculo.

Veamos algunos ejemplos de estos enfoques con datos reales. Primero vamos a ilustrar el enfoque básico de búsqueda vecinal con REGE categorial. Luego compararemos los tratamientos categoriales y continuos de los valores de las geodésicas en un grafo no dirigido. Finalmente, vamos a aplicar el método de búsqueda tabu a datos binarios dirigidos.

REGE CATEGORIAL PARA DATOS BINARIOS DIRIGIDOS (INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN DE KNOKE)

La red de intercambio informacional de Knoke es dirigido y binario, aunque muchos vínculos son recíprocos.



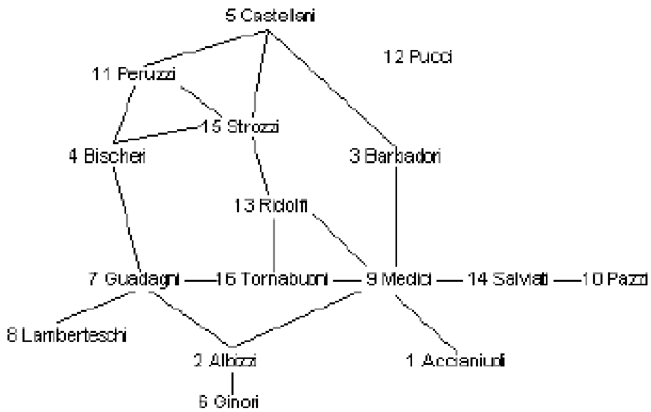
El algoritmo REGE, cuando se aplica a datos binarios, primero categoriza a los actores como fuentes, repetidores y terminales. Luego intenta subdividir a los actores en cada una de esas categorías de acuerdo a los tipos de actores en el vecindario. El proceso continúa, por no muchos pasos, hasta que todos los actores están divididos, y no hay una mayor diferenciación obtenible por extensión del vecindario. He aquí los resultados:

```
CATEGORICAL REGULAR EQUIVALENCE

HIERARCHICAL CLUSTERING

        C I W C N E   U W M
        O N E O E D W W E A
        U D L M W U R A S Y
        N U F M S C O Y T R
                        1
Level   1 4 9 2 7 3 6 8 0 5
-----   - - - - - - - - - -
    3   . . . . . . . . . .
    2   XXXXX XXX XXXXXXX .
    1   XXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Actor-by-actor similarities
                            1
          1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
         COCOEDINMAWRNEUWWEWE
         - - - - - - - - - -
  1 COUN  3 1 1 2 1 1 1 1 2 1
  2 COMM  1 3 1 1 1 1 2 1 1 1
  3 EDUC  1 1 3 1 1 2 1 2 1 2
  4 INDU  2 1 1 3 1 1 1 1 2 1
  5 MAYR  1 1 1 1 3 1 1 1 1 1
  6  WRO  1 1 2 1 1 3 1 2 1 2
  7 NEWS  1 2 1 1 1 1 3 1 1 1
  8 UWAY  1 1 2 1 1 2 1 3 1 2
  9 WELF  2 1 1 2 1 1 1 1 3 1
 10 WEST  1 1 2 1 1 2 1 2 1 3
```

Comentario: Este enfoque sugiere una solución de {1,4,9}, {3,6,8,10}, {5}. Vemos más adelante que es partición es similar aunque no idéntica con la solución producida por la búsqueda Tabú. En este caso, los actores y sus vecindarios son bastante similares en un sentido tosco, de ser fuentes, repetidores y terminales. Cuando los roles de los actores son muy similares en este sentido tosco, la búsqueda vecinal simple no puede producir resultados sosos.

REGE CATEGORIAL PARA DISTANCIAS GEODÉSICAS (DATOS DE MATRIMONIO DE PADGETT)

Los datos sobre alianzas matrimoniales entre las familias de la elite Florentina presentan densidades de medianas a bajas y no son dirigidas. Hay considerables diferencias entre las posiciones de las familias.



El algoritmo REGE categorial se puede usar para identificar actores con equivalencia regular tratando los elementos de la matriz de distancia geodésica como descriptores del tipo de vínculos, de modo que distintas distancias geodésicas son tratadas como cualitativamente diferentes. Dos nodos son equivalentes si cada uno tienen un actor en su vecindario que es del mismo tipo, en este caso, esto significa que son similares si cada uno tiene un actor que está a la misma distancia geodésica respecto a ellos. Con muchos conjuntos de datos, los niveles de similitud de vecindarios pueden resultar bastante altos, y puede ser difícil diferenciar las posiciones de los actores sobre la base de la equivalencia regular.

```
CATEGORICAL REGULAR EQUIVALENCE

WARNING: Data converted to geodesic distances before processing.

HIERARCHICAL CLUSTERING

        A       B   C     L           T
        C       A B A   G A         S O
        C S A R R I S   U M     P   A R
        I T L I B S T G A B M   E   L N
        A R B D A C E I D E E P R P V A
        I O I O D H L N A R D A U U I B
        U Z Z L O E L O G T I Z Z C A U
        O Z Z F R R A R N E C Z Z C T O
        L I I I I I N I I S I I I I I N

          1   1                 1 1 1 1 1
Level   1 5 2 3 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 4 6
-----   - - - - - - - - - - - - - - - -
    3   . . . . . . . . . . . . . . . .
    2   XXX XXX . . . . . . . . . . . .
    1   XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
```

```
Actor-by-actor similarities
                                          1 1 1 1 1 1 1
                  1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6
                 ACALBABICAGIGULAMEPAPEPURISASTTO
                  - - - - - - - - - - - - - - - -
  1 ACCIAIUOL  3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1
  2    ALBIZZI  1 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
  3 BARBADORI  1 1 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
  4   BISCHERI  1 1 1 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
  5 CASTELLAN  1 1 1 1 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
  6     GINORI  1 1 1 1 1 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
  7   GUADAGNI  1 1 1 1 1 1 3 1 1 1 1 1 1 1 1 1
  8 LAMBERTES  1 1 1 1 1 1 1 3 1 1 1 1 1 1 1 1
  9     MEDICI  1 1 1 1 1 1 1 1 3 1 1 1 1 1 1 1
 10      PAZZI  1 1 1 1 1 1 1 1 1 3 1 1 1 1 1 1
 11    PERUZZI  1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 3 1 1 1 1 1
 12      PUCCI  1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 3 1 1 1 1
 13    RIDOLFI  1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 3 1 1 1
 14   SALVIATI  1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 3 1 1
 15    STROZZI  2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 3 1
 16 TORNABUON  1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 3
```

Comentario: El uso de Rege con datos no dirigidos, puede producir resultados inesperados, aún cuando se sustituyen las distancias geodésicas por valores binarios. Puede ser más útil combinar el número de vínculos distintos para producir valores continuos. El principal problema es que con datos no dirigidos la mayoría de los casos van a aparecer muy similares unos con otros (en el sentido "regular), y ningún algoritmo puede corregir esto. Si las distancias geodésicas se pueden usar para representar las diferencias en los tipos de vínculo, que es la cuestión conceptual, y si los actores tienen alguna variabilidad en sus distancias, este método produce resultados significativos. Pero, en mi opinión, debe usado con cautela, si es que se usa, con datos no dirigidos.

REGE CONTINUO PARA DISTANCIAS GEODÉSICAS (DATOS DE MATRIMONIOS DE PADGETT)

Un enfoque alternativo para los datos no dirigidos de Padgett es tratar los distintos niveles de distancias geodésicas como medidas de (la inversa) de la fortaleza de vínculos. Dos nodos son más equivalentes si tienen un actor de similar distancia en su vecindario (similar en el sentido cuantitativo de que 5 es más similar a 4, que lo que es 6). Por defecto, el algoritmo extiende la búsqueda a vecindarios de distancia 3, aunque se pueden seleccionar menos o más.

EQUIVALENCIA REGULAR POR MEDIO DEL ALGORITMO REGE DE WHITE/REITZ

REGE similarities (3 iterations)

		1 ACCI	2 ALBI	3 BARB	4 BISC	5 CAST	6 GINO	7 GUAD	8 LAMB	9 MEDI	10 PAZZ	11 PERU	12 PUCC	13 RIDO	14 SALV	15 STRO	16 TORN
1	ACCIAIUOL	100	93	43	52	51	29	64	33	46	60	45	0	91	67	92	73
2	ALBIZZI	93	100	53	62	62	42	73	47	56	72	56	0	94	81	94	79
3	BARBADORI	43	53	100	96	95	70	95	98	91	71	96	0	52	94	57	94
4	BISCHERI	52	62	96	100	99	76	99	98	97	71	100	0	67	94	70	98
5	CASTELLAN	51	62	95	99	100	76	98	97	97	70	99	0	66	93	70	97
6	GINORI	29	42	70	76	76	100	75	83	73	92	78	0	54	74	53	79
7	GUADAGNI	64	73	95	99	98	75	100	97	97	71	99	0	76	93	79	97
8	LAMBERTES	33	47	98	98	97	83	97	100	91	84	98	0	47	95	53	96
9	MEDICI	46	56	91	97	97	73	97	91	100	66	97	0	62	86	65	92
10	PAZZI	60	72	71	71	70	92	71	84	66	100	73	0	72	73	77	78
11	PERUZZI	45	56	96	100	99	78	99	98	97	73	100	0	60	94	64	98
12	PUCCI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0
13	RIDOLFI	91	94	52	67	66	54	76	47	62	72	60	0	100	76	100	86
14	SALVIATI	67	81	94	94	93	74	93	95	86	73	94	0	76	100	78	93
15	STROZZI	92	94	57	70	70	53	79	53	65	77	64	0	100	78	100	87
16	TORNABUON	73	79	94	98	97	79	97	96	92	78	98	0	86	93	87	100

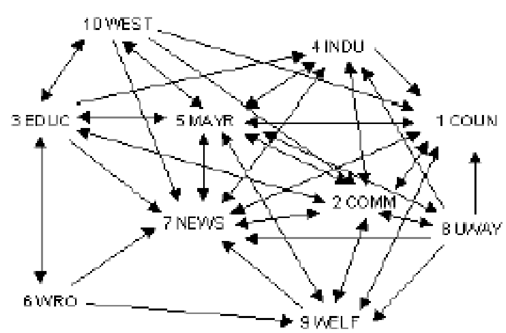
HIERARCHICAL CLUSTERING OF EQUIVALENCE MATRIX

```
           A               B L   C     T
           C           S   A A G A B   O
           C A R S     A   R M U S I P R
           I L I T G   L M B B A T S E N
         P A B D R I P V E A E D E C R A
         U I I O O N A I D D R A L H U B
         C U Z L Z O Z A I O T G L E Z U
         C O Z F Z R Z T C R E N A R Z O
         I L I I I I I I I I S I N I I N

         1     1 1   1 1             1 1
 Level   2 1 2 3 5 6 0 4 9 3 8 7 5 4 1 6
------   - - - - - - - - - - - - - - - -
99.860   . . . . . . . . . . . . . XXX .
99.787   . . . XXX . . . . . . . . . XXX .
99.455   . . . XXX . . . . . . . . XXXXX .
98.609   . . . XXX . . . . . . . XXXXXXX .
97.895   . . . XXX . . . . . XXX XXXXXXX .
97.676   . . . XXX . . . . . XXX XXXXXXXXX
96.138   . . . XXX . . . . . XXXXXXXXXXXXX
93.756   . . XXXXX . . . . XXXXXXXXXXXXX
93.673   . . XXXXX . . . XXXXXXXXXXXXXXX
92.796   . . XXXXX . . XXXXXXXXXXXXXXXXX
92.059   . . XXXXX XXX XXXXXXXXXXXXXXXXX
91.911   . XXXXXXX XXX XXXXXXXXXXXXXXXXX
75.816   . XXXXXXX XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
67.386   . XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
 0.000   XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
```

Comentario: Una mejor opción para datos no dirigidos que el enfoque categorial, es el algoritmo REGE continuo aplicado a las distancias geodésicas. El resultado sigue mostrando equivalencias regulares bastante altas ente los actores, y la solución es modestamente similar a la del enfoque categorial.

LA RED DE INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN DE KNOKE ANALIZADA CON LA BÚSQUEDA TABÚ

Antes hemos examinado la red de información de Knoke usando el enfoque de vecindario. El método tabú es una búsqueda iterativa de una permutación y partición del grafo, dada una decisión a priori acerca del número de particiones, que produce el menor número de excepciones a codificaciones de bloques cero y uno de equivalencia regular. En otras palabras, los bloques son cero si todas sus entradas son cero y uno si hay al menos un elemento en cada fila y columna. Aquí aplicamos el método a los mismos datos que hemos usado antes para el análisis simple de vecindario. El resultado es:




```
REGULAR BLOCKMODELS VIA TABU SEARCH

Number of blocks:        4

Fit: 2.000

Block Assignments:

    1:  COMM MAYR
    2:  EDUC WRO WEST
    3:  COUN INDU NEWS WELF
    4:  UWAY
```

```
Blocked Adjacency Matrix

                  1
          5 2   6 0 3   4 7 1 9   8
          M C   W W E   I N C W   U
        -----------------------------
 5 MAYR |   1 |   1 1 | 1 1 1 1 | 1 |
 2 COMM | 1   |     1 | 1 1 1 1 | 1 |
        -----------------------------
 6  WRO |     |     1 |   1   1 |   |
10 WEST | 1 1 |     1 |   1 1   |   |
 3 EDUC | 1 1 | 1 1   | 1 1     |   |
        -----------------------------
 4 INDU | 1 1 |       |   1 1   |   |
 7 NEWS | 1 1 |       | 1       |   |
 1 COUN | 1 1 |       |   1   1 |   |
 9 WELF | 1 1 |       |   1     |   |
        -----------------------------
 8 UWAY | 1 1 |       | 1 1 1 1 |   |
        -----------------------------
```

Comentario: El método produce un estadístico de ajuste y deben compararse las soluciones para distintos números de particiones. En este caso, un modelo de 5 grupos se ajusta mejor que la solución de 4 grupos mostrada aquí. La solución de 4 grupos se reporta para que se pueda comparar con el resultado de búsqueda de vecindario, presentada antes.

La matriz de adyacencia de bloques para la solución de 4 grupos es, sin embargo, bastante convincente. De los 12 bloques que son de interés, (los bloques en las diagonales no son relevantes para el análisis de rol), 10 satisfacen perfectamente las reglas para bloques 0 y 1.

La solución es también interesante desde el punto de vista sustantivo. El primer conjunto {2,5}, por ejemplo, son repetidores puros, que envían y reciben a y de todos los otros roles. El conjunto {6,10,3} sólo emite a otros dos tipos, no a todos los tres tipos, y reciben desde sólo un tipo. Y así sucesivamente.

El método de búsqueda tabú puede ser muy útil y generalmente produce resultados interesantes. Es un algoritmo iterativo de búsqueda, pero igualmente puede encontrar soluciones locales. Muchas redes tienen más de una partición válida por medio de la equivalencia regular y no hay garantías de que el algoritmo siempre encontrará la misma solución. Debe ser ejecutado varias veces con diferentes configuraciones iniciales.

RESUMEN DEL CAPÍTULO XI

El concepto de equivalencia regular es muy importante para los sociólogos que usan métodos de análisis de red, porque es coincidente con la noción de rol social. Dos actores son equivalentes regulares si tienen a su vez, relaciones a otros equivalentes (no necesariamente los mismos, o en el mismo número). Las equivalencias pueden ser exactas o aproximadas. A diferencia de definiciones estructurales o automórficas de equivalencia, puede haber muchas maneras válidas para clasificar a los actores en conjuntos de equivalencia regular en un grafo dado - y más de una puede ser significativa.

Existen diversos enfoques algorítmicos para realizar el análisis de la equivalencia regular. Todas se basan en la búsqueda de vecindarios de actores y en el perfilamiento de los vecindarios por la presencia de actores de otros tipos. En la medida que los actores tienen tipos similares a actores que están a similares distancias en sus vecindarios, son regularmente equivalentes. Esta definición algo suelta puede traducirse con bastante precisión en reglas de bloques uno y cero para producir una matriz de imagen de los bloques de equivalencia propuestos. La bondad (de ajuste) de estas imágenes es quizás el mejor test para una partición propuesta. Y las propias imágenes son la mejor descripción de la naturaleza de cada rol en términos de sus patrones de relación esperados desde otras reglas.

Sólo hemos tratado superficialmente el análisis de equivalencias regulares y de roles en una red. Una extensión mayor que lo hace más rico aún, es la incorporación de múltiples tipos de vínculos (es decir, matrices de relación apiladas). Otra extensión es el álgebra de roles que busca identificar relaciones subyacentes, o generativas de los patrones de vínculos en redes de múltiples vínculos (en vez de simplemente apilarlas o sumarlas).