La centralidad en las redes sociales. Clarificación conceptual

Linton C. Freeman*

(Traducción: Reyes Herrero)

El problema de la centralidad

La idea de centralidad aplicada a la comunicación humana fue introducida por Bavelas en 1948. A él le interesaba en particular la comunicación en los grupos pequeños, e hipotetizó sobre la relación entre centralidad estructural e influencia en los procesos grupales.

La primera investigación empírica sobre centralidad se realizó bajo la dirección de Bavelas en el Group Networks Laboratory del M.I.T. a finales de los años 40. Los primeros estudios fueron dirigidos por Harold Leavitt (1949) y Sidney Smith (1950). Bavelas (1950) y Bavelas y Barrett (1951) dieron cuenta de estos estudios, que fueron descritos en detalle por primera vez por Leavitt (1951). En todos estos trabajos se extraía como conclusión que la centralidad estaba relacionada con la eficiencia del grupo a la hora de resolver problemas, con la percepción del liderazgo y con la satisfacción personal de los miembros del mismo.

Estos estudios sentaron las bases para una gran cantidad de experimentos similares a lo largo de las décadas de los años 50 y 60. Hubo ampliaciones, modificaciones y reelaboraciones del diseño original del M.I.T. Sin embargo, a medida que fueron acumulándose evidencias de carácter empírico, los resultados se tornaron confusos y hasta contradictorios. En 1968, como resumen de la bibliografía existente sobre la materia, Burguess (1968) concluía que *«la investigación no ha producido resultados sólidos y acumulables»*. Pero, con todo, los resultados sí que prueban que la centralidad es relevante para explicar el modo en el que los grupos se organizan para resolver al menos cierto tipo de problemas. Flament (1956, 1960, 1963, 1965), Mulder (1956, 1958), Glanzer y Glaser (1957, 1961), Cohen (1964), Shaw (1964), Burguess (1968), Snadowsky (1972) y Rogers y Agarwala-Rogers (1976) han realizado diversas revisiones de todo ese material empírico.

Pero las aplicaciones del concepto de centralidad no se han restringido a los estudios empíricos sobre los procesos grupales encaminados a la resolución de problemas. Cohn y Marriot (1958) usaron la idea de centralidad en

Linton C. Freeman. University of California at Irvine.
Política y Sociedad, 33 (2000), Madrid (pp. 131-148)

su intento de explicar la integración política en un contexto de diversidad como el de la sociedad de la India. En efecto, ellos planteaban cómo una nación tan grande y tan heterogénea como la India podía siquiera gobernarse. Su conclusión era que todos los aspectos de la vida social en la India estaban entrelazados a través de centros en la red de relaciones que *«vinculan y entretejen»* las distintas hebras hasta formar una estructura coordinada. Por su parte, Pitts (1965) examinó las consecuencias para el desarrollo urbano de la centralidad en las vías de comunicación. Reconstruyó la red de transporte fluvial existente en el centro de Rusia en el siglo XII como un intento de explicar la preeminencia de Moscú y su surgimiento como cuidad de entre los muchos caseríos de la zona. Moscú resultó ser un gran centro, en el sentido estructural, en la red de transportes y comunicaciones de la Rusia medieval. Tanto Beauchamp (1965) como Mackenzie (1966b) exploraron las implicaciones de la centralidad para el diseño de las organizaciones. Beauchamp sugirió que la eficiencia de una nueva organización surgida a partir de dos o más organizaciones previamente existentes, podía optimizarse conectando las subunidades entre sí a través de sus puntos más centrales. Mackenzie, por otra parte, expuso que la relación entre estructura organizativa y eficiencia debería depender de la complejidad de las tareas a realizar por la organización.

Más recientemente, Czepiel (1974) ha usado el concepto de centralidad para explicar las pautas de difusión de una innovación tecnológica en la industria del acero. Sus resultados no eran significativos en términos estadísticos, pero descubrió que las compañías que ocupaban posiciones más centrales en una red de comunicaciones informales entre empresas eran, en general, las que antes adoptaban un nuevo proceso de fundición. La centralidad, parecía ser, les proporcionaba una ventaja tecnológica.

Rogers (1974) ha estudiado la emergencia de dos tipos de centralidad en las relaciones interorganizativas. Descubrió que, independientemente del modo en que se considerara la centralidad, ciertas organizaciones tendían sistemáticamente a ser más centrales que otras. Lo que es más, se mostraba que la centralidad de una organización podía predecirse, en parte a partir de sus propias características y en parte, a partir de las propiedades de la red en la cual estaba inmersa.

Además de estos ejemplos, bastante académicos, hay diversos conceptos relacionados con la centralidad y, más en particular, con la descentralidad, que han venido atrayendo la atención de aquellos que trabajan en el campo de la organización y planificación comunitaria. Hay un creciente debate sobre la democratización de la sociedad a través de la descentralización de la toma de decisiones [1]. Las ideas que se han generado en estos estudios hacen una clara referencia a la centralidad estructural.

Así que la idea de centralidad está viva y disfruta de buena salud, y está además siendo utilizada en un cada vez más amplio abanico de aplicaciones. Parece que todo el mundo está de acuerdo en que la centralidad es un importante atributo estructural de las redes sociales. Todos aceptan que está relacionada en un alto grado con otras importantes propiedades y procesos grupales. Pero aquí acaba el consenso. Ciertamente, no hay unanimidad sobre lo que es exactamente la centralidad o cuáles son sus bases conceptuales, y existe muy poco acuerdo sobre el procedimiento más adecuado para medirla.

A lo largo de los años se han propuesto una gran cantidad de medidas de la centralidad. El desarrollo de medidas debería ayudar a clarificar un concepto, especificando sus componentes y las relaciones entre ellos. Pero en el caso de la centralidad parece haber llevado al efecto contrario. Las diversas medidas están a menudo relacionadas sólo de una manera muy vaga a las ideas intuitivas que pretenden reflejar, y muchas de ellas son tan complejas que es difícil o imposible descubrir qué están midiendo, si es que miden algo.

Parece que es tiempo de detenernos, hacer inventario y tratar de dar sentido al concepto de centralidad y a la extensión y límites de su potencial de aplicación. Este es exactamente el propósito del presente ensayo. El objetivo es clarificar y resolver algunos de los problemas conceptuales de la centralidad y explorar algunas de las maneras en las que la centralidad puede usarse para estudiar los grupos humanos.

Comenzaremos, por ello, con un examen de los problemas conceptuales y de medición relacionados con la centralidad. Obviamente, este examen pondrá el énfasis en las propiedades estructurales de las redes de comunicación humana. El debate sobre las propiedades estructurales de las redes se simplifica enormemente refiriéndolo a unos pocos términos y conceptos extraídos de la teoría de grafos. Antes, por tanto, de explorar la centralidad como tal, se ofrece en el siguiente epígrafe un breve repaso a las propiedades más importantes de la teoría de grafos.

Los dos epígrafes siguientes analizarán las bases conceptuales de la centralidad. Primero, empezaremos con el concepto de centralidad referido a la ubicación de posiciones o puntos en las redes; después veremos el concepto tal como se aplica a la estructura global de una red tomada como un todo.

Introduciremos algunas medidas nuevas para dar cuenta de la base conceptual de la centralidad. En cierto sentido, la introducción de medidas nuevas en este punto puede resultar inapropiada. Idealmente, las medidas deberían surgir a partir los avances teóricos; deberían definirse en el contexto de modelos procesuales concretos. Sin embargo, antes de que esos modelos puedan desarrollarse, es necesaria una cierta definición conceptual; es decir, que deben establecerse los parámetros básicos del problema. Por eso, la introducción de medidas en este contexto debe entenderse simplemente como un medio de clarificar el concepto de centralidad. El propósito no es «encerrarse» en ningún tipo de medida de la centralidad que pueda tomarse como definitiva.

Algunos términos y conceptos de la teoría de grafos

Un grafo es un conjunto de *puntos* y un conjunto de líneas o *aristas* que conectan pares de puntos. En la Figura 1 se muestra un grafo compuesto por cinco puntos y cinco aristas.

Cuando dos puntos están conectados directamente por una arista, se dice que son *adyacentes*. El número de puntos de los cuales un determinado punto es adyacente se conoce como el *grado* de ese punto. En el ejemplo de la Figura 1, el punto p_1 tiene grado 1 y el punto p_2 tiene grado 3.

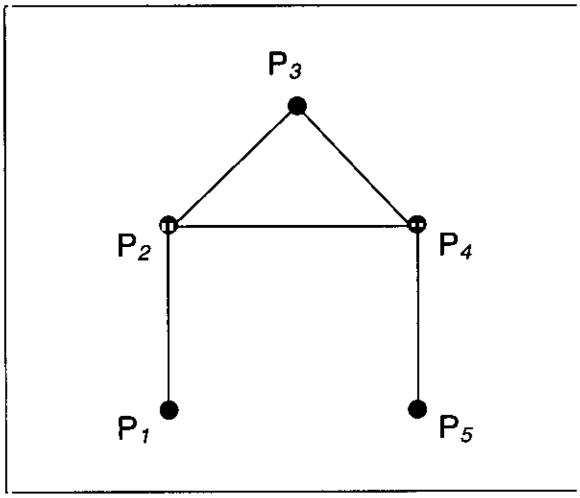


Figura 1. Grafo con cinco puntos.

Dado un par de puntos no ordenado, (p_i, p_j), cada uno es *alcanzable* desde el otro, si y sólo si existe un *camino*, es decir, una secuencia de una o más aristas, (p_i, p_a), (p_a, p_b), (p_b, p_c), ...(p_z, p_j), que comienza en p_i y, quizá, pasando a través de puntos intermedios, p_a, p_b, p_c, ...p_z, termina en p_j. Un camino que comienza y termina en el mismo punto es un *ciclo*. En la Figura 1, el camino (p_2, p_3), (p_3, p_4), (p_4, p_2) es un ciclo.

Cuando cada uno de los puntos es alcanzables desde cualquier otro punto, el grafo se llama *conexo*. El grafo de la Figura 1, por ejemplo, es un grafo conexo.

A cada camino se asocia una *distancia*, que es igual al número de aristas de ese camino. El camino más corto entre un par de puntos se llama *geodésica*. En la Figura 1 se muestran dos caminos entre el punto p_1 y el punto p_5; uno a través de los puntos p_2, p_3 y p_4, y otro a través de los puntos p_2 y p_4. Dado que el primero de los caminos tiene una distancia de 4 y el segundo una distancia de 3, el segundo es una geodésica. Los puntos que están en la única geodésica o en todas las geodésicas que unen un par de puntos, se dice que *median* entre ambos puntos.

Cualquier red de comunicación puede representarse mediante un grafo. Cada posición en la red corresponde a un punto en el grafo, y cada vínculo de comunicación corresponde a una arista o línea que conecta a un par de puntos.

La centralidad de un punto

Aunque nunca se ha hecho explícito, hay un tema intuitivo y recurrente que parece haber atravesado todo el temprano pensamiento de redes sociales sobre la centralidad: el punto en el centro de una estrella o el eje de una rueda, tal como muestra la Figura 2. Se asume universalmente que una persona ubicada en el centro de una estrella es estructuralmente más central que cualquier otra persona en cualquier otra posición en cualquier otra red de tamaño similar.

A primera vista, esta intuición parece natural. El centro de la estrella parece estar en un tipo de posición especial con respecto a la estructura global. El problema es, sin embargo, llegar a determinar el modo o los modos en los cuales una posición es estructuralmente única.

Los diversos intentos de tratar este problema han ofrecido tres propiedades estructurales distintivas que únicamente el centro de una estrella posee. Esa posición tiene el máximo *grado* posible; está en la geodésica *mediando* el mayor número posible de puntos y, ya que está ubicada a la mínima distancia de todos los otros puntos, está lo más *cerca* posible a ellos.

Dado que todas éstas son propiedades estructurales del centro de una estrella, compiten entre ellas por ser la propiedad definidora de la centralidad. Todas las medidas de centralidad están basadas más o menos directamente en una u otra de ellas. Es más, cada medida

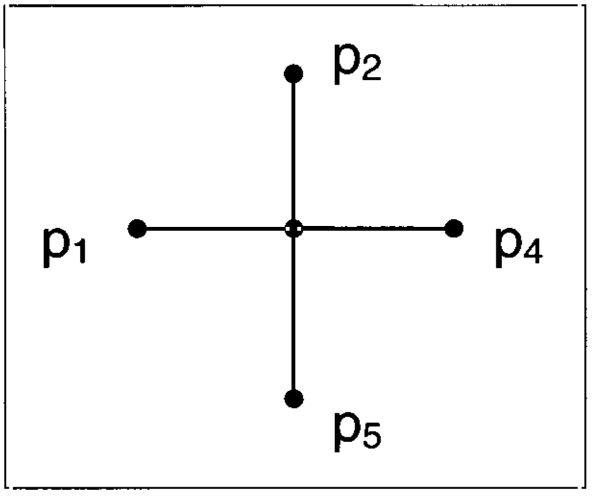


Figura 2. Una estrella o rueda con cinco puntos.

está asociada a algún tipo de base intuitiva o de fundamento de su propia y particular propiedad estructural, que puede estar basada en la psicología, la política o la economía de la comunicación humana.

La más simple y, quizás, la más intuitivamente obvia de las concepciones es que la centralidad de un punto está en función del grado de ese punto. El grado de un punto, p_i es, simplemente, el número de puntos p_j $(i \neq j)$ que son adyacentes a él y con los que está, por tanto, en contacto directo. El punto central p_3 en la Figura 2 es adyacente a otros cuatro puntos; es decir, que su grado es cuatro. En un grafo de cinco puntos, cada uno de los puntos puede ser adyacentes solo a los cuatro puntos restantes, así que el grado máximo de cualquier punto es cuatro. Esto es, p_3 es un ejemplo de un punto de grado máximo en un grafo de cinco puntos.

Shaw (1954) introdujo la idea de usar el grado como indicador de la centralidad de un punto y, lo mismo que otros autores (Faucheux y Moscovici 1960; Mackenzie 1964, 1966a; Czepiel 1974; Nieminen 1973, 1974; Rogers 1974) que concibieron de este modo la centralidad, aparentemente lo encontró tan intuitivamente sugerente que no se molestó en absoluto en discutir o en elaborar sus bases conceptuales. Para todos ellos, centralidad *significa* grado.

Con respecto a la comunicación, un punto con un grado relativamente alto está en cierto modo «muy metido en todo». Podemos, por tanto, aventurar que aquellos autores que han definido la centralidad en términos de grado están atendiendo a la visibilidad o al potencial de actividad de tales puntos en la comunicación.

A medida que se sucede el proceso de comunicación en una red social, una persona que ocupa una posición que le permite un contacto directo con muchos otros podría empezar a verse a sí misma y a ser vista por los demás como un importante canal de información. En cierto sentido es un punto focal de comunicación, al menos con respecto a aquellos con los que está en contacto, y es probable que desarrolle un sentido de estar en el centro de los flujos de información de la red.

En el extremo opuesto, estaría un punto con un grado bajo. El ocupante de esa posición es probable que llegue a verse a sí mismo y ser visto por los demás como periférico. Su posición le aísla de una relación directa con la mayoría de los otros en la red y le separa de una participación activa en el proceso de comunicación en marcha.

Shaw (1954), Faucheux y Moscovici (1960), Garrison (1960), Mackenzie (1966a), Pitts (1965), Rogers (1974), Czepiel (1974), Nieminen (1973, 1974) y Kajitani y Maruyama (1976) han desarrollado medidas de la centralidad basadas, en todo o en parte, en el grado o adyacencia de un punto. Desgraciadamente, estas medidas basadas en el grado son a menudo innecesariamente complicadas.

La medida desarrollada por Shaw (1954), por ejemplo, estaba basada aparentemente en la medida de la curvatura, pero es absolutamente ininteligible desde cualquier perspectiva teórica. Las que desarrollaron Garrison (1960) y Pitts (1965) incorporan una generalización, interesante a priori, de la noción de grado. Ambos usan la idea de grado de un punto para distancias mayores que uno y, de este modo, comienzan a hacerse una idea de cuan profundamente está un punto inmerso en la red total de comunicación. Sin embargo, las medidas de ambos están abocadas al fracaso, dado que dependen no sólo del tamaño del grafo, sino de la geodésica más larga sobre la que son calculadas. En consecuencia, tampoco proporcionan un indicador directo de la centralidad de un punto que pueda usarse para comparar puntos en grafos que sean de distintos tamaños o cuyas geodésicas más largas sean diferentes.

Tanto Faucheux y Moscovici (1960) como Mackenzie (1966a) comenzaron considerando el grado como concepto estructural subyacente a la hora de construir sus medidas, pero ambos cambiaron para orientar sus preocupaciones hacia la distribución estadística de las frecuencias de actividad. Ambos, por tanto terminaron construyendo un indicador basado en propiedades distintas a las estructurales.

La medida propuesta por Rogers (1974) es sencilla, pero está diseñada especialmente para casos en los que las posibilidades de adyacencia son restringidas. La de Czepiel (1974) es una medida relativa también sencilla, pero sirve sólo para un tipo particular de relaciones de dependencia no simétricas. La que introdujeron Kajitani y Maruyama (1976) está construida a partir de la inversa del grado para que su derivación sea coherente; matemáticamente hablando es sensata, pero de difícil cálculo. Sólo Nieminen (1974) ha elaborado una medida de la centralidad basada en el grado que es sencilla, natural y perfectamente general.

La medida de Nieminen (1974) es el grado, o el número de adyacencias para un punto p*k*:

$$C_D(p_k) = \sum_{i=1}^{n} a(p_i, p_k)$$

donde $a(p_i, p_k) = 1$ si y solo si p_i y p_k están conectados por una línea, y = 0 si no es así.

Como tal, esta medida es un claro indicador de hasta qué punto p_k es o no un foco de actividad. $C_D(p_k)$ será mayor si el punto p_k es adyacente –es decir, está en contacto directo– a un gran número de puntos, y será menor si p_k tiende a estar desligado de ese contacto directo. $C_D(p_k)$ será igual a 0 si se trata de un punto totalmente aislado de los demás.

La magnitud de $C_D(p_k)$ está, en parte, en función del tamaño de la red sobre la que se calcula. En algunos casos esto es irrelevante. Como medida de la cantidad total de actividad de un punto ese cálculo del grado es útil, pero en otros casos puede ser deseable tener una medida que sea independiente del tamaño de la red. A la hora de comparar la centralidad relativa de puntos de diferentes grafos, por ejemplo, necesitamos una medida de la que se haya eliminado el efecto del tamaño de la red.

Un punto dado, p_k, puede ser adyacente a al menos $n - 1$ puntos de un grafo. El valor máximo de $C_D(p_k)$ será, por tanto, $n - 1$, de modo que

$$C'_D(p_k) = \frac{\sum_{i=1}^{n} a(p_i, p_k)}{n-1}$$

es la proporción de puntos que son adyacentes a p_k. Puede usarse allí donde tenga sentido una medida relativa de la centralidad basada en el grado.

$C_D(p_k)$ y $C'_D(p_k)$ son, por tanto, medidas estructurales de la centralidad basadas en el grado del punto p_k. El grado de un punto se considera importante como indicador de su actividad potencial de comunicación.

El segundo enfoque de la centralidad es el que se basa la frecuencia con la que un punto está entre otros pares de puntos en la geodésica más corta de las que les conectan. Esta idea puede ilustrarse volviendo a la Figura 2, en la que el centro, p_3, presenta un máximo de intermediación [2]. Las diez geodésicas de la Figura 2 se muestran en la Figura 3. Cuatro de ellas muestran distancias de uno; son las que conectan p_3 con cada uno de los otros puntos. Las otras seis tienen una longitud de dos y todas ellas presentan a p_3 como punto intermedio entre los otros. Es decir, que p_3 está entre otros puntos en seis de las diez geodésicas del grafo. Dado que deben «consumirse» cuatro geodésicas para conectar el punto central con cada uno de los demás, seis es el máximo de intermediación posible en un grafo de cinco puntos.

Tanto Bavelas (1948) como Shaw (1954) sugirieron que cuando una persona está estratégicamente situada en las líneas de comunicación que ligan a pares de otras personas, esa persona es central. Una persona en una posición así puede influir en el grupo ocultando o distorsionando la información que transmite. Shimbel (1953) recalcó la responsabilidad que las personas que ocupan semejantes posiciones tienen en el mantenimiento de la comunicación, y Cohn y Marriot (1958) pusieron el énfasis en su potencial como coordinadores de los procesos grupales.

Independientemente del énfasis, un punto que está en la línea de comunicación entre otros puntos tiene potencial para controlar su comunicación. Es este potencial para controlar lo que define la centralidad de este tipo de puntos.

Aunque Shaw (1954) incluyó el cálculo de la intermediación en una compleja medida de la centralidad construida experimentalmente, no desarrolló ninguna medida para la intermediación. Anthonise (1971) y Freeman (1977) llegaron independientemente a elaborar medidas directas.

Determinar la intermediación es claro y sencillo cuando sólo existe una geodésica que conecte cada par de puntos, como en el ejemplo de más arriba. Allí, el punto central puede controlar más o menos completamente la comunicación entre los pares de otros puntos. Pero cuando hay varias geodésicas que conectan un par de puntos, la cuestión se vuelve más complicada. Un punto que está en algunas pero no todas las geodésicas que conectan un par de otros puntos tiene una capacidad más limitada para controlar.

En el grafo de la Figura 4 hay dos geodésicas que ligan p_1 con p_3; una a través de p_2 y otra a través de p_4. En este caso, ni p_2 ni p_4 están en sentido estricto entre p_1 y p_3, ni tampoco tiene control sobre su comunicación.

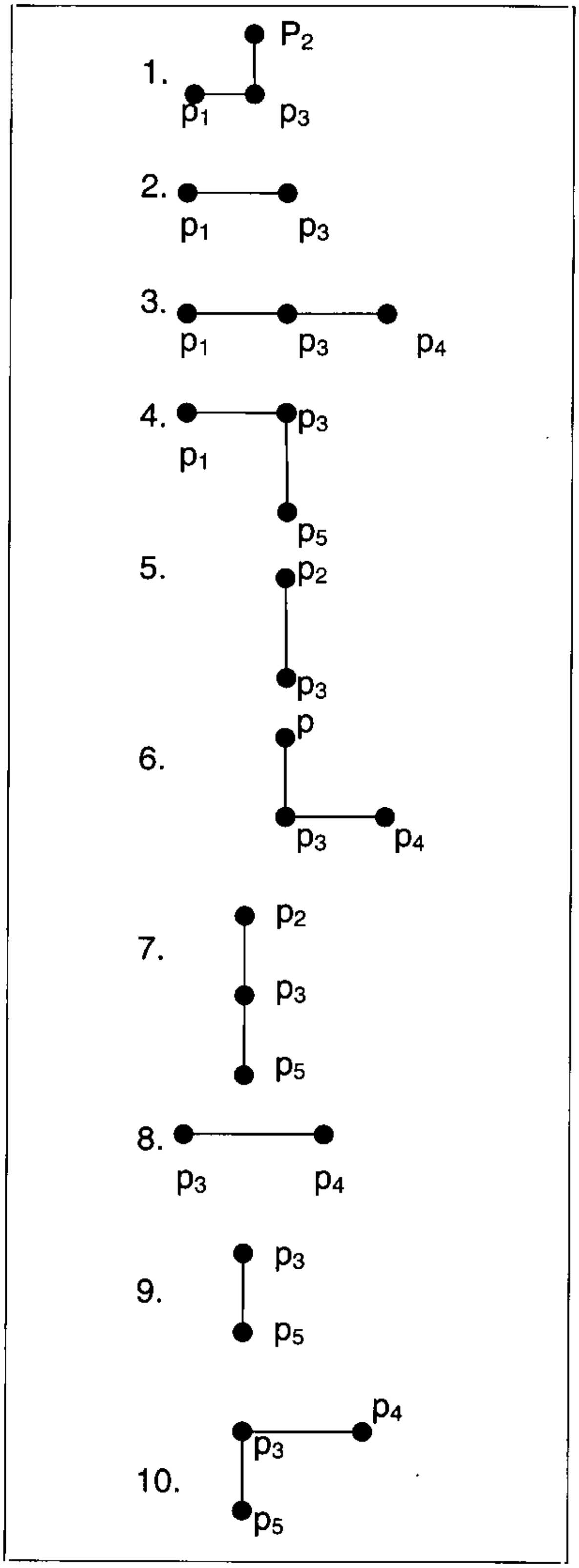


Figura 3. Las diez geodésicas del grafo de la Figura 2.

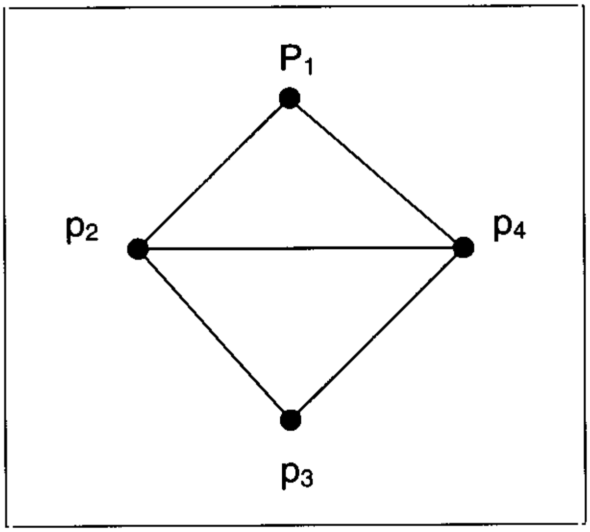


Figura 4. Un grafo con cuatro puntos y cinco aristas.

Ambos, sin embargo, tienen cierto potencial para controlar.

Este tipo de intermediación parcial puede definirse en términos de probabilidad. Si asumimos que dos puntos p_i y p_j son indiferentes a cual de las geodésicas posibles transporta sus comunicaciones, la probabilidad que usen cada una de ellas es

$$1/g_{ij}$$

donde g_{ij} es el número de geodésicas que unen p_i y p_j. El potencial de un punto p_k para controlar la información que va entre p_i y p_j puede definirse como la probabilidad de que p_k esté en una geodésica elegida al azar entre las que conectan p_i y p_j. Si

$g_{ij}(p_k)$ = número de geodésicas de las que ligan p_i y p_j que contienen p_k

entonces

$$i_{ij}(p_k) = 1/g_{ij} \times g_{ij}(p_k) = g_{ij}(p_k)/g_{ij}$$

es la probabilidad que buscamos: la probabilidad de que el punto p_k esté en una geodésica elegida al azar de entre las que ligan p_i y p_j.

Para determinar la centralidad global de un punto p_k sumamos sus valores de intermediación parcial para el conjunto no ordenado de pares de puntos con la condición de que $i \neq j \neq k$:

$$C_B(p_k) = \sum_{i <}^{n} \sum_{j}^{n} b_{ij}(p_k)$$

donde n es el número de puntos del grafo.

El sumatorio $C_B(p_k)$ es un indicador de la intermediación parcial global de un punto p_k. Siempre que p_k esté en la única geodésica que conecte un par de puntos, $C_B(p_k)$ aumenta 1. Cuando hay varias geodésicas alternativas $C_B(p_k)$ crece en proporción a la frecuencia con que p_k está presente en ese conjunto de alternativas.

Localizar las geodésicas y calcular se convierte en una tarea difícil cuando se trata de redes grandes. No obstante, Harary *et al.* (1965: 134-141) exponen con detalle algunos métodos basados en el uso de matrices para realizar ambas tareas. Estos métodos permiten además desarrollar un sencillo programa informático para calcular $C_B(p_k)$.

Como $C_D(p_k)$, $C_B(p_k)$ depende del tamaño de la red sobre la que se calcula y, también como en el caso anterior, puede ser útil disponer de una medida que esté libre de esa limitación. Lo que se necesita es una medida que sea relativa al máximo valor posible en función del número de puntos de la red.

Freeman (1977) demostró que el valor máximo que puede tomar $C_B(p_k)$ solo puede alcanzarlo el punto central de una estrella. Este valor es

$$n^2 - 3n + 2/2$$

Por tanto, la centralidad relativa de cualquier punto de un grafo puede expresarse como una ratio,

$$C'_B(p_k) = 2C_B(p_k)/n^2 - 3n + 2$$

Los valores de $C'(p_k)$ pueden compararse entre grafos. Una estrella o rueda, por ejemplo, independientemente del tamaño tendrá un punto central para el que $C'_B(p_k) = 1$, mientras que para todos los demás puntos $C'_B(p_k) = 0$.

Tanto el valor $C_B(p_k)$ como el de $C'_B(p_k)$ puede determinarse para cualquier grafo simétrico sea o no conexo. Son medidas de la centralidad basadas en la propiedad estructural de *intermediación* del punto p_k. La intermediación es útil como indicador del potencial de un punto para *controlar* la comunicación.

La tercera concepción intuitiva de la centralidad se basa en el grado hasta el que un punto está cerca al resto de los puntos del grafo. En el Figura 2, por ejemplo, el punto p_3 está a una distancia de uno respecto a los otros cuatro puntos. Cada uno de los oros puntos está a una distancia de uno sólo respecto a p_3, y a una distancia de dos respecto a los puntos restantes. El punto p_3 es, por lo tanto, el más cercano respecto de todos los demás. De hecho, dado que la distancia mínima entre un par de puntos es de uno, p_3 está respecto de sus cuatro vecinos tan cerca como un punto puede estar en un grafo de cinco puntos.

Este tercer enfoque de la centralidad está también relacionado con el control de la comunicación, pero de un modo diferente. Aquí, un punto se considera central en la medida en que puede evitar el potencial de los otros para controlar. De acuerdo con Bavelas (1950), una posición no central es aquella que *«tiene que transmitir mensajes a través... de otros»*. Así que, tal como apunta Leavitt (1951), una posición central es aquella que no depende de otros como intermediarios o «transmisores» de los mensajes. Se trata, en efecto, de una idea que debe mucho a la concepción de Leavitt, que tendía a usar las palabras centralidad e independencia como intercambiables.

La independencia de un punto está determinada por su *cercanía* a todos los demás puntos del grafo. En la Figura 1, por ejemplo, el punto p_2 está en contacto directo con otros tres puntos, p_1, p_3 y p_4. Pero tiene que pasar sus mensajes a través de p_4 para llegar a p_5. De modo que p_2 depende únicamente de un transmisor para comunicarse con todos los que componen la red. Por otra parte, p_1 necesita de p_2 para comunicarse con p_3 o p_4, y de p_2 y p_4 para llegar a p_5. Así que, para llegar a todos, p_1 tiene que depender de p_2 tres veces, y de p_4 un vez: necesita de intermediarios cuatro veces en total. Luego, como p_2 está más cerca que p_1 a todos los demás puntos, tiene una mayor centralidad, entendida como independencia respecto a los demás.

En un estudio anterior, Bavelas (1948) había sugerido otra lógica alternativa para construir una noción de la centralidad basada en la cercanía. Apuntaba la idea de que un mensaje originado en el punto más central de una red se expandiría a través de toda ella en un tiempo mínimo. Beauchamp (1965) llevó esta idea más lejos al hablar del uso de la cercanía para diseñar organizaciones de una *«óptima... eficiencia»* en sus comunicaciones. Hakimi (1965) y Sabidussi (1966) generalizaron esta idea al definir el punto más central de una red como aquel para el que el tiempo o el coste de la comunicación con los demás es mínimo. Luego, con respecto al tiempo o al coste-eficiencia un punto es central en la medida en que las distancias asociadas con todas sus geodésicas son mínimas. Distancias cortas significan menos intermediarios, menos tiempo y menor coste.

Bavelas (1950), Beauchamp (1965), Sabisussi (1966), Moxley y Moxley (1974) y Rogers (1974) han desarrollado medidas de la centralidad basadas en la cercanía. La más sencilla y natural de estas medidas es la de Sabidussi (1966), quien sugirió que la centralidad de un punto podía medirse sumando las distancias geodésicas desde ese punto a todos los demás puntos del grafo. De hecho, se trata más bien de una medida de la descentralidad o centralidad inversa, dado que aumenta a medida que los puntos se alejan, cuando la centralidad, en este contexto, significa cercanía.

Sea $d(p_i, p_k)$ el número de aristas de la geodésica que liga p_i y p_k, la medida de descentralidad de un punto p_k que propone Sabisussi es

$$C_c(p_k)^{-1} = \sum_{i=1}^{n} d(p_i, p_k)$$

$C_C(p_k)^{-1}$ aumenta cuando aumenta la distancia entre p_k y los demás puntos: es la inversa de la centralidad del punto p_k. A pesar de eso, se trata de una medida sencilla y, dado que es una suma de distancias, su interpretación es natural. Es significativa, desde luego, solo en el caso de un grafo conexo. En un grafo inconexo cada punto está a una distancia infinita de al menos uno de los puntos, así que

$$\sum_{i=1}^{n} d(p_i, p_k) = \infty$$

para todo p_k.

Todas las demás medidas basadas en la distancia se construyen a partir de este sumatorio y, por tanto, están sujetas a la misma restricción. Lo que es más, tienden a añadir innecesarias y confusas complicaciones que hacen difícil la interpretación. La medida de Sabidussi es recomendable por su simplicidad y la inmediatez de su interpretación.

El cálculo de $C_c(p_k)^{-1}$ es sencillo y claro. Algunos de los métodos matriciales que se usan para calcular $C_B(p_k)$ pueden también usarse aquí. Están descritos con detalle en Harari *et al.* (1965: 134-138).

Como en el caso de las medidas descritas más arriba, ésta depende del número de puntos de la red a partir de la cual se calcula. No es posible, por lo tanto, comparar valores de $C_c(p_k)^{-1}$ para puntos extraídos de grafos de distinto tamaño. Así que, de nuevo, sería útil disponer de una medida de la cual se hubiera eliminado el impacto del tamaño del grafo.

Beauchamp (1965) ha resuelto ya este problema, sugiriendo que la centralidad relativa de un punto pk podría definirse como

$$C'_c(p_k) = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} d(p_i, p_k)}{n-1} \right] = \frac{n-1}{\sum_{i=1}^{n} \overline{d(p_i, p_k)}}$$

Como la suma, en esta fórmula, está basada en las distancias desde p_k hasta los otros $n-1$ puntos, $C'_c(p_k)$ puede entenderse como la inversa de la distancia media entre p_k y los demás puntos. Pero, como $n-1$ es también el valor mínimo de la suma de las distancias –para un punto que sea adyacente a todos los demás– $C'_c(p_k)$ puede también interpretarse como la inversa de la ratio por la que p_k excede su distancia mínima. De este modo, $C'_c(p_k)$ es una medida directa de la centralidad basada en la distancia. Su valor es la unidad cuando p_k está cerca de los otros puntos al máximo, y disminuye a medida que la distancia media entre p_k y otros puntos aumenta.

Ambas medidas, $C_c(p_k)^{-1}$ y $C'_c(p_k)$, son indicadores de la centralidad basados en la *cercanía*. También pueden usarse cuando se requieren medidas basadas en las nociones de *independencia* o *eficiencia*.

En suma, la centralidad de un punto puede determinarse por referencia a cualquiera de estos tres atributos estructurales de ese punto: su grado, su intermediación o su cercanía. La elección de un atributo estructural en particular y de su medida asociada depende del contexto del caso concreto que se esté estudiando. El interés por la actividad comunicativa apunta hacia una medida basada en el grado. El interés por el control de la comunicación requiere una medida basada en la intermediación, y el interés por la independencia o la eficiencia conduce a la elección de una medida basada en la cercanía. En cualquier caso, el centro de la estrella de la Figura 2 es el punto más central bajo cualquiera de estos tres criterios.

La centralidad de un grafo

Durante los últimos veinticinco años ha habido una controversia sobre el significado del término *centralidad* referido a las redes sociales como un todo. Uno de los puntos de vista arranca más o menos directamente de la teoría de grafos, y ha sido expuesto de una forma u otra por Bavelas (1950), Flament (1963), Beauchamp (1965) y Sabidussi (1966). La teoría de grafos no define explícitamente el término centralidad referido grafos enteros. No obstante, parece estar relacionado –al menos en la mente de estos autores– con la *compacidad* de los grafos. Un grafo es compacto en la medida en que las distancias entre pares de puntos del mismo son pequeñas. Así, para aquellos que definen la centralidad en términos de cercanía, la noción de compacidad de la teoría de grafos es una extensión natural de la idea de centralidad.

Los cuatro autores citados más arriba parecen haber hecho justo este razonamiento. Los cuatro han apuntado que la noción de compacidad debería extenderse al estudio de las redes sociales y simplemente la han rebautizado como «centralidad de un grafo». Sus medidas están todas basadas en las distancias entre puntos y todas ellas definen los grafos como centralizados en la medida en que sus puntos están todos cerca. Todas ellas están basadas en la inversa de las sumas o las medias de las distancias entre puntos.

El enfoque alternativo surgió de la investigación sustantiva sobre comunicación en las redes sociales. Se recoge en los trabajos de Leavitt (1951), Faucheux y Moscovici (1960), Mackenzie (1966a), Nieminen (1974) y Freeman (1977). Desde este punto de vista, la centralidad de una red entera debería indicar la tendencia de un único punto a ser más central que todos los otros puntos de la red. Este tipo de medidas de la centralidad de un grafo se basan en las diferencias entre la centralidad del más central de los puntos y la del resto; de modo que se trata de indicadores de la *centralización* de una red.

Leavitt (1951) proporcionó tanto una base lógica intuitiva como una demostración práctica de la utilidad de una concepción de la centralización de un grafo basada en el predominio de un punto. Su punto de vista era que tanto la rapidez y la eficiencia de una red a la hora de resolver problemas como la satisfacción de sus miembros y su percepción de la estructura de liderazgo estarían relacionadas con la tendencia de un único punto a ser notoriamente central. Es más, demostró que estas relaciones en efecto regían las redes que él estudió.

Parece claro, por tanto, que a la hora de estudiar las redes sociales, necesitamos medidas de la centralización de los grafos que se basen en las diferencias entre la centralidad de los puntos. En este epígrafe, se definirán tres medidas, cada una de las cuales se corresponde con una de las tres propiedades que se han usado ya para definir la centralidad de los puntos.

Ya se mostró más arriba cómo se habían concretado tres propiedades estructurales distintas para desarrollar medidas de la centralidad de un punto. Ahora se considerarán tres indicadores diferentes de la centralización de un grafo, cada una de ellas en correspondencia con una de las medidas de la centralidad de un punto antes examinadas.

En términos ideales, todos los indicadores de la centralización de un grafo, deberían tener, independientemente del punto de partida sobre el que se construyan, ciertos rasgos en común: (1) deberían medir el grado en el que la centralidad del punto más central excede la de los demás, y (2) deberían expresarse como la ratio de ese exceso sobre su máximo valor posible para un grafo que contenga un determinado número de puntos. Luego, si

n = número de puntos

$C_x(p_i)$ = una de las centralidades de un punto definidas más arriba

$C_x(p^*)$ = el valor máximo que puede tomar $C_x(p_i)$ para cualquier punto de la red, y

$\max \sum_{i=1}^{n} [C_x(p^*) - C_x(p_i)]$ = el máximo valor de la suma de las diferencias de centralidad entre los puntos de un grafo de n puntos entonces

$$C_x = \frac{\sum_{i=1}^{n} [C_x(p^*) - C_x(p_i)]}{\max \sum_{i=1}^{n} [C_x(p^*) - C_x(p_i)]}$$

es un índice aceptable. Ese índice, C_x, determinará el grado en el que $C_x(p^*)$ excede la centralidad de todos los demás puntos y, dado que C_x es la ratio de una suma de diferencias observada respecto a su valor máximo, oscilará entre 0 y 1.

$C_x = 0$ si y solo si todos los $C_x(p_k)$ son iguales, y $C_x = 1$ si y solo si un punto, p*, domina completamente la red en lo que a centralidad se refiere.

Volvamos ahora a considerar las tres diferentes medidas de la centralidad de un punto que pueden usarse para construir un índice de la centralización de un grafo. Comenzaremos con una medida basada en los grados de los puntos.

Faucheux y Moscovici (1960), Mackenzie (1966a) y Nieminen (1973, 1974) han elaborado medidas de la centralidad de un grafo basadas en el grado, que reflejan el predominio relativo de un único punto. Tanto la medida de Faucheaux y Moscovici como la de Mackenzie están diseñadas para aplicarse a datos sobre distribuciones estadísticas y estrictamente no son, por tanto, el tipo de medidas estructurales que se están revisando aquí. Es más, la medida de Faucheaux y Moscovici puede aplicarse solamente a un tipo especial de datos no simétricos. La medida de Mackenzie es terriblemente complicada y, dado que da como resultado una constante siempre que el número de puntos es igual al número de aristas –independientemente de la disposición de las aristas– tiene serios defectos. La primera medida de Nieminen (1973) usaba un factor de ponderación que daba como resultado una medida excesivamente complicada y difícil de interpretar. Su segunda medida (Nieminen 1974), en cambio, se acerca bastante a lo que buscamos. Está basada en las diferencias entre el punto con el grado más alto y todos los demás, y se deriva rigurosamente de un explícito conjunto de axiomas.

Tal como está establecida, sin embargo, la medida de Nieminen no es aceptable en el contexto actual. El modelo de medida de la centralidad de un grafo definido más arriba requiere que la simple diferencia de centralidad entre dos puntos se use para construir una medida de la centralidad del grafo. Estas diferencias pueden definirse en términos de una simple resta pero, por el contrario, Nieminen exige que cada diferencia sea ponderada en proporción al cuadrado de su magnitud. El resultado es un indicador arbitrario e imposible de interpretar.

La medida más natural, entonces, es la propuesta arriba. En este caso,

$$C_D = \frac{\sum_{i=1}^{n}[C_D(p^*) - C_D(p_i)]}{\max \sum_{i=1}^{n}[C_D(p^*) - C_D(p_i)]}$$

es la medida que buscamos.

El máximo de la suma de las diferencias del denominador es sencillo de determinar. Ya se ha establecido que el valor máximo de $C_D(p^*)$ es $n - 1$ para un punto que es adyacente a todos sus vecinos. Si el grafo es una estrella o una rueda, para cada uno de los otros puntos $C_D(p_i)$ será igual a 1, y las diferencias serán

$$(n - 1) - 1 = n - 2$$

para cada una de las $n - 1$ comparaciones. De modo que la suma de las diferencias será

$(n - 2)(n - 1) = n^2 - 3n + 2$ para una estrella o rueda.

No podemos añadir una línea al centro a la estrella porque, por definición, ya es adyacente a todos los demás puntos. Si añadimos una línea cualquier otro par de puntos, cada uno de ellos, cuando se compare con el centro, dará una diferencia,

$(n - 1) - 2 = n - 3$ que es más pequeña que la anterior.

Por otra parte, si quitamos una línea, ésta debe quitarse del centro ya que, en una estrella o rueda, todas las líneas están conectadas con el centro. En ese caso, el centro estará conectado a otros $n - 2$ puntos y para uno de ellos $C_D(p_i)$ será igual a 0; es decir, estará totalmente desconectado. El punto desconectado p_i dará una diferencia de

$$(n - 2) - 0 = n - 2$$

pero todas las demás diferencias se reducirán:

$$(n - 2) - 1 = n - 3$$

Si se altera una de las líneas, eso significa que deberá quitarse del centro. En ese caso, el centro tendrá un grado igual a $n - 2$ y todas las demás diferencias se reducirán. Luego, desde el punto de vista del grado, la estrella o rueda es el grafo más centralizado posible, ya que da la mayor de las sumas de diferencias,

$$n^2 - 3n + 2$$

Ahora podemos sustituir en la fórmula de más arriba:

$$C_D = \frac{\sum_{i=1}^{n}[C_D(p^*) - C_D(p_i)]}{n^2 - 3n + 2}$$

C_D es la fórmula general para determinar la centralidad de una red atendiendo al grado.

Ahora consideraremos el problema de la centralidad de un grafo en términos de intermediación. La única medida de centralidad global basada en la intermediación es la introducida por Freeman (1977). Se define como la diferencia media entre la centralidad relativa del punto más central, $C'_B(p^*)$, y la de los demás puntos. Esta fórmula, sin embargo, puede mostrarse como una forma de la medida de centralidad especificada más arriba:

$$C_B = \frac{\sum_{i=1}^{n}[C'_B(p^*) - C'_B(p_i)]}{n-1} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{C_B(p^*)}{n^2-3n+2} - \frac{C_B(p_i)}{n^2-3n+2}\right]}{n-1}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n}[C_B(p^*) - C_B(p_i)]}{(n-1)(n^2-3n+2)}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n}[C_B(p^*) - C_B(p_i)]}{n^3-4n^2+5n-2}$$

Freeman demostró que esta medida toma su valor máximo en el caso de la estrella o rueda, luego C_B proporciona una medida general de la centralidad de un grado en términos de intermediación.

Por último, consideremos el problema de la medida de la centralidad de los grafos en términos de cercanía. La medida de Leavitt (1951) fue diseñada para este propósito pero, como muchas de las primeras medidas, es casi imposible de interpretar. Flament (1963: 51-53), identificándola erróneamente con la medida de Bavelas, conjeturó que la de Leavitt medía la homogeneidad de grados. Sabidussi (1966) mostró que esa conjetura era errónea, pero no proporcionó una interpretación alternativa. Todo lo que puede decirse es que, como complicada suma del inverso de las distancias relativas, se trata de un cierto tipo de indicador de la homogeneidad de las distancias.

Se puede construir una medida de fácil interpretación usando una ligera variación del modelo apuntado arriba. Dado que $C_c(p_i)^{-1}$, la medida de la centralidad de un punto, es una medida de la distancia –la inversa de la cercanía–, esta medida está basada en $C'_c(p_i)$, la medida directa de la cercanía. Así que el numerador de la medida deseada es

$$\sum_{i=1}^{n}[C'_c(p^*) - C'_c(p_i)]$$

La máxima cercanía posible tiene lugar cuando un punto está a una distancia de 1 de todos los demás puntos; su suma de cercanías es 1. Todos los demás puntos están a una distancia de 1 del centro y a una distancia de 2 entre ellos. Por lo tanto, la suma de las cercanías para cada uno de ellos es

$$\frac{n-1}{1+(2)(n-2)} = \frac{n-1}{2n-3}$$

y arroja una diferencia de

$$1 - \frac{n-1}{2n-3} = \frac{n-2}{2n-3}$$

Hay $n - 1$ de estas diferencias, así que la máxima diferencia posible es

$$\frac{n-2}{2n-3}(n-1) = \frac{n^2-3n+2}{2n-3}$$

y la medida de centralidad del grafo es

$$C_c = \frac{\sum_{i=1}^{n}[C'_c(p^*) - C'_c(p_i)]}{(n^2-3n+2)(2n-3)}$$

Podemos mostrar cómo la estrella arroja la máxima suma de diferencias considerando las alternativas posibles. Si añadimos una línea, ésta debe añadirse a otro punto distinto del centro, ya que el centro ya está conectado directamente a todos los demás puntos. Añadiendo una línea a cualquier par de puntos no centrales se reducirá la distancia entre ellos; por tanto se incrementará la suma de cercanías de cada uno. Pero, como la suma de distancias del punto central no cambiará, la suma de las diferencias se reducirá.

No podemos quitar una línea y mantener la conectividad, pero podemos mover una línea desde el centro a algún otro punto. De nuevo, esto incrementará las sumas de las cercanías de dos puntos no centrales al tiempo que disminuirá la suma de las cercanías del punto central. Así que, tal como sucedía con las otras medidas, la estrella o rueda es el grafo más centralizado.

Tal como ocurrió en el caso de la centralidad de un punto, tenemos tres medidas de la centralidad de un grafo, cada una de las cuales se basa en una propiedad estructural distintiva y, también aquí, la elección de una u otra debe depender del problema concreto a estudiar.

Todas estas medidas coinciden en asignar el mayor índice de centralidad a la estrella o rueda. Y todas ellas coinciden en asignar el menor índice al grafo completo (aquel en el que todas las aristas posibles están presentes) ya que todos los puntos en un grafo así son homogéneos desde cualquier punto de vista. Pero, más allá de estos casos extremos, el acuerdo se rompe. Es justamente ahí, entre las formas estructurales intermedias, donde hacer una cuidadosa elección entre estas medidas es más importante.

Como ejemplo, se han usado las nueve medidas para calcular la centralidad de todos los grafos de cinco puntos posibles. Hay 34 grafos distintos que contengan cinco puntos (Uhlenbeck y Ford 1962). Estos grafos aparecen en la Tabla 1 junto con el cálculo de la centralidad de sus puntos y del grafo entero. La Tabla es ilustrativa de un conjunto de factores que pueden ser útiles a la hora de entender el «sentido» de las diversas medidas:

(1) Ninguna de las medidas de la centralidad de un grafo basadas en la distancia puede usarse en el caso de los 13 grafos inconexos.
(2) Las tres medidas de la centralidad de un grafo coinciden en asignar al grafo número 9, la estrella o rueda, el valor máximo de centralidad.
(3) Las tres medidas coinciden en asignar a los grafos número 20 y 34, el círculo y el grafo completo, el valor mínimo de centralidad.
(4) Entre estos extremos, las tres medidas de la centralidad de un grafo difieren notablemente en su jerarquización de los demás grafos.
(5) La mayor gama de variación de los valores, tanto para la centralidad de los puntos como para la de los grafos, se encuentra en las medidas basadas en la intermediación: se trata de medidas más «refinadas» que las otras.
(6) La gama de variación más pequeña en ambos tipos de resultados se da en las medidas basadas en el grado: se trata de medidas más «burdas».

Tabla 1

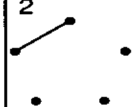
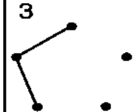
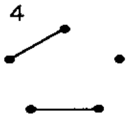
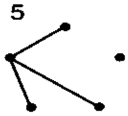
Grafo	C_D	$C_D(p_k)$	$C'_D(p_i)$	C_B	$C_B(p_i)$	$C'_B(p_i)$	C_C	$C_C(p_i)^{-1}$	$C'_C(p_i)$
1  Nulo	0	0	0	0	0	0	*		
		0	0		0	0			
		0	0		0	0			
		0	0		0	0			
		0	0		0	0			
2 	0,25	1	0,25	0	0	0	*		
		1	0,25		0	0			
		0	0		0	0			
		0	0		0	0			
		0	0		0	0			
3 	0,5	2	0,5	0,16	1	0,16	*		
		1	0,25		0	0			
		1	0,25		0	0			
		0	0		0	0			
		0	0		0	0			
4 	0,8	1	0,25	0	0	0	*		
		1	0,25		0	0			
		1	0,25		0	0			
		1	0,25		0	0			
		0	0		0	0			
5 	0,75	3	0,75	0,5	3	0,5	*		
		1	0,25		0	0			
		1	0,25		0	0			
		1	0,25		0	0			
		0	0		0	0			

Tabla 1 (continuación)

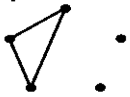
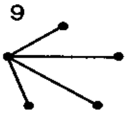
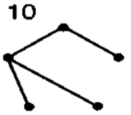
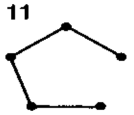
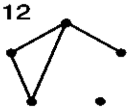
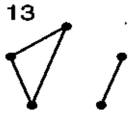
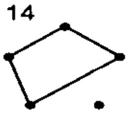
Grafo	C_D	$C_D(p_k)$	$C'_D(p_i)$	C_B	$C_B(p_i)$	$C'_B(p_i)$	C_C	$C_C(p_i)^{-1}$	$C'_C(p_i)$
6 	0,33	2	0,5	0,17	1	0,17	*		
		1	0,25		0	0			
		1	0,25		0	0			
		1	0,25		0	0			
		1	0,25		0	0			
7 	0,33	2	0,5	0	0	0	*		
		2	0,5		0	0			
		2	0,5		0	0			
		0	0		0	0			
		0	0		0	0			
8 	0,33	2	0,5	0,25	2	0,33	*		
		2	0,5		2	0,33			
		1	0,25		0	0			
		1	0,25		0	0			
		0	0		0	0			
9 	1	4	1	1	6	1	1	4	1
		1	0,25		0	0		7	0,57
		1	0,25		0	0		7	0,57
		1	0,25		0	0		7	0,57
Estrella		1	0,25		0	0		7	0,57
10 	0,58	3	0,75	0,71	5	0,83	0,63	5	0,8
		2	0,5		2	0,5		6	0,67
		1	0,25		0	0		8	0,5
		1	0,25		0	0		8	0,5
Horquilla		1	0,25		0	0		9	0,44
11 	0,17	2	0,5	0,41	4	0,67	0,43	6	0,67
		2	0,5		3	0,5		7	0,57
		2	0,5		3	0,5		7	0,57
		1	0,25		0	0		10	0,4
Cadena		1	0,25		0	0		10	0,4
12 	0,58	3	0,75	0,33	2	0,33	*		
		2	0,5		0	0			
		2	0,5		0	0			
		1	0,25		0	0			
		0	0		0	0			
13 	0,17	2	0,5	0	0	0	*		
		2	0,5		0	0			
		2	0,5		0	0			
		1	0,25		0	0			
		1	0,25		0	0			
14 	0,17	2	0,5	0,02	0,5	0,08	*		
		2	0,5		0,5	0,08			
		2	0,5		0,5	0,08			
		2	0,5		0,5	0,08			
		0	0		0	0			

Tabla 1 (continuación)

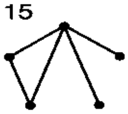
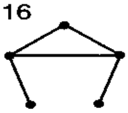
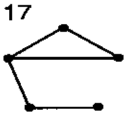
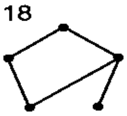
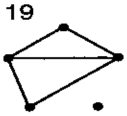
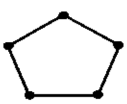
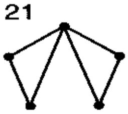
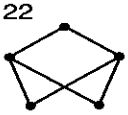
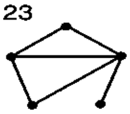
Grafo	C_D	$C_D(p_k)$	$C'_D(p_i)$	C_B	$C_B(p_i)$	$C'_B(p_i)$	C_C	$C_C(p_i)^{-1}$	$C'_C(p_i)$
15 	0,83	4	1	0,83	5	0,83	0,89	4	1
		1	0,25		0	0		7	0,57
		1	0,25		0	0		7	0,57
16 	0,42	3	0,75	0,38	3	0,5	0,43	5	0,8
		3	0,75		3	0,5		5	0,8
		1	0,25		0	0		8	0,5
		1	0,25		0	0		8	0,5
17 	0,42	3	0,75	0,56	4	0,67	0,55	5	0,8
		2	0,5		3	0,5		6	0,67
		1	0,25		0	0		9	0,44
18 	0,42	3	0,75	0,48	3,5	0,58	0,46	5	0,8
		2	0,5		1	0,17		6	0,67
		2	0,5		1	0,17		6	0,67
		2	0,5		0,5	0,08		7	0,57
		1	0,25		0	0		8	0,5
19 	0,42	3	0,75	0,06	0,5	0,08	*		
		3	0,75		0,5	0,08			
		2	0,5		0	0			
		2	0,5		0	0			
		0	0		0	0			
20  Círculo		2	0,5		1	0,17		6	0,67
		2	0,5		1	0,17		6	0,67
		2	0,5		1	0,17		6	0,67
		2	0,5		1	0,17		6	0,67
21 	0,67	4	1	0,67	4	0,67	0,77	4	1
		2	0,5		0	0		6	0,67
		2	0,5		0	0		6	0,67
		2	0,5		0	0		6	0,67
		2	0,5		0	0		6	0,67
22 	0,25	3	0,75	0,14	1,5	0,25	0,23	5	0,8
		3	0,75		1,5	0,25		5	0,8
		2	0,5		0,33	0,06		6	0,67
		2	0,5		0,33	0,06		6	0,67
		2	0,5		0,33	0,06		6	0,67
23 	0,67	4	1	0,56	3,5	0,58	0,75	4	1
		3	0,75		0,5	0,08		5	0,8
		2	0,5		0	0		6	0,67
		2	0,5		0	0		6	0,67
		1	0,25		0	0		7	0,57

Tabla 1 (continuación)

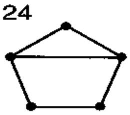
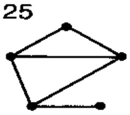
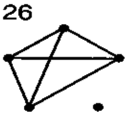
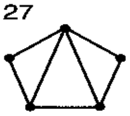
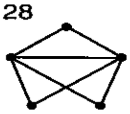
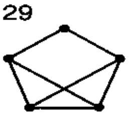
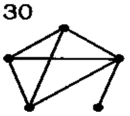
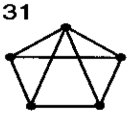
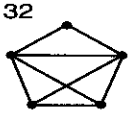
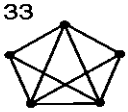
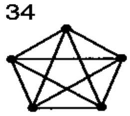
Grafo	C_D	$C_D(p_k)$	$C'_D(p_i)$	C_B	$C_B(p_i)$	$C'_B(p_i)$	C_C	$C_C(p_i)^{-1}$	$C'_C(p_i)$
24 	0,25	3	0,75	0,14	1,5	0,25	0,23	5	0,8
		3	0,75		1,5	0,25		5	0,8
		2	0,5		0,5	0,08		6	0,67
		2	0,5		0,5	0,08		6	0,67
		2	0,5		0	0		6	0,67
25 	0,25	3	0,75	0,41	3	0,5	0,31	5	0,8
		3	0,75		1	0,17		5	0,8
		3	0,75		1	0,17		5	0,8
		2	0,5		0	0		7	0,57
		1	0,25		0	0		8	0,5
26 	0,25	3	0,75	0	0	0	*		
		3	0,75		0	0			
		3	0,75		0	0			
		3	0,75		0	0			
		0	0		0	0			
27 	0,5	4	1	0,29	2	0,33	0,62	4	1
		3	0,75		0,5	0,08		5	0,8
		3	0,75		0,5	0,08		5	0,8
		2	0,5		0	0		6	0,67
		2	0,5		0	0		6	0,67
28 	0,5	4	1	0,19	1,5	0,25	0,58	4	1
		4	1		1,5	0,25		4	1
		2	0,5		0	0		6	0,67
		2	0,5		0	0		6	0,67
		2	0,5		0	0		6	0,67
29 	0,08	3	0,75	0,08	1	0,17	0,08	5	0,8
		3	0,75		1	0,17		5	0,8
		3	0,75		0,33	0,06		5	0,8
		3	0,75		0,33	0,06		5	0,8
		2	0,5		0,33	0,06		6	0,67
30 	0,5	4	1	0,5	3	0,5	0,60	4	1
		3	0,75		0	0		5	0,8
		3	0,75		0	0		5	0,8
		3	0,75		0	0		5	0,8
		1	0,25		0	0		7	0,57
31 	0,33	4	1	0,5	0,67	0,11	0,47	4	1
		3	0,75		0,33	0,06		5	0,8
		3	0,75		0,33	0,06		5	0,8
		3	0,75		0,33	0,06		5	0,8
		3	0,75		0,33	0,06		5	0,8
32 	0,33	4	1	0,12	1	0,17	0,43	4	1
		4	1		1	0,17		4	1
		3	0,75		0	0		5	0,8
		3	0,75		0	0		5	0,8
		2	0,5		0	0		6	0,67

Tabla 1 (continuación)

Grafo	C_D	$C_D(p_k)$	$C'_D(p_i)$	C_B	$C_B(p_i)$	$C'_B(p_i)$	C_C	$C_C(p_i)^{-1}$	$C'_C(p_i)$
33 	0,17	4	1	0,03	0,33	0,06	0,23	3	1
		4	1		0,33	0,06		4	1
		4	1		0,33	0,06		4	1
		3	0,75		0	0		5	0,8
		3	0,75		0	0		5	0,8
34 	0	4	1	0	0	0	0	4	1
		4	1		0	0		4	1
		4	1		0	0		4	1
		4	1		0	0		4	1
Completo		4	1		0	0		4	1

Resumen y conclusiones

El tema de este ensayo ha sido la centralidad estructural. Se han revisado las bases intuitivas de los conceptos de centralidad de un punto y de un grafo en redes sociales. Se han examinado las medidas de la centralidad existentes, tanto de los puntos como de redes enteras, a la luz de sus fundamentos de carácter intuitivo. La mayor parte de ellas no han soportado este examen.

Las medidas que han sobrevivido a este proceso de revisión se han reintroducido en el contexto de un conjunto común de símbolos y de perspectivas de carácter intuitivo. Las lagunas dejadas por las medidas que no han superado el test se han llenado con nuevas medidas.

En su conjunto, el resultado de este proceso ha sido la definición de nueve medidas de la centralidad asentada sobre tres bases conceptuales. Tres están basadas en el grado de los puntos y son indicadores de la actividad comunicativa. Tres están basadas en la intermediación de los puntos y son indicadores del potencial para controlar la comunicación. Y tres están basadas en la cercanía y son indicadores bien de independencia o de eficiencia.

Cada conjunto de medidas incluye dos tipos de índice de la centralidad de un punto –uno basado en cifras absolutas y otro en cifras relativas– y un índice de la centralidad global de la red o centralización del grafo. Juntas, estas nueve medidas parecen cubrir el ámbito intuitivo del concepto de centralidad. Definen tres importantes características estructurales de las redes de comunicación.

Las tres medidas de la centralidad global de una red coinciden en los casos extremos. Todas asignan a la estrella o rueda el máximo índice de centralidad y al círculo y al grafo completo el índice mínimo. Entre estos extremos, sin embargo, el acuerdo se rompe y difieren en su jerarquización relativa de las formas intermedias. Así que, después de examinar el concepto de centralidad en los epígrafes precedentes nos encontramos en una delicada situación de «riqueza» intelectual. Tenemos, no una, sino tres concepciones de la centralidad y toda una familia de medidas para cada una de ellas.

En efecto, estos tres tipos de centralidad representan tres «teorías» alternativas de cómo la centralidad pude afectar los procesos grupales. Si se postula que la percepción del liderazgo, por ejemplo, depende de la centralidad, estamos obligados a especificar si centralidad significa control, centralidad como independencia o centralidad como actividad. Cualquiera de estos tres tipos de centralidad o cualquier combinación de ellos podría ser apropiado en un caso particular. Queda por ver cómo soporta cada uno de ellos el trabajo de carácter empírico que se desarrolle en el futuro en este área.

NOTAS

* Social Networks, 1 (1978/79) 215-239 Departamento de Sociología. 3151 Social Sciences Plaza, University of California, Irvine, CA 92697. USA.

[1] Véase, por ejemplo, SARASON *et al.* (1978).
[2] *betweenness* en el original.

BIBLIOGRAFÍA

ANTHONISE, J. M. (1971): *The Rush in a Graph*. Amsterdam: Mathematisch Centrum (mimeo).

BAVELAS, A. (1948): «A mathematical model for group structures». *Human Organization 7*: 16-30.

—(1950): «Communication patterns in task oriented groups». *Journal of the Acoustic Society of America 22*: 271-282.

BAVELAS, A. y D. BARRETT (1951): «An experimental approach to organizational communication». *Personnel 27*: 366-371.

BEAUCHAMP, M. A. (1965): «An improved index of centrality». *Behavioral Science 10*: 161-163.

BERKOVITZ, L. (1956): «Personality and group position». *Sociometry 19*: 210-222.

BURGUESS, R. L. (1968): «Communication networks and behavioral consecuences». *Human Relations 22*: 137-159.

COHEN, A. M. (1964): «Communication networks in research and training». *Personnel Administration 27*: 18-24.

COHN, B. S. y M. MARRIOT (1958): «Networks and centers of integration in Indian civilization». *Journal of Social Research 1*:1-9.

CZEPIEL, J. A. (1974): «Word of mouth processes in the diffusion of a major technological innovation». *Journal of Marketing Research 11*: 172-180.

FAUCHEUX, C. y S. MOSCOVICI (1960): «Etudes sur la créativité des groupes tâches, structures des communications et réussite». *Bulletin du CERP 9*: 11-22.

FLAMENT, C. (1956): «Influence des changements de réseaux de communication sur les performances des groupes». *Psychologie Française 1*: 12-13.

—(1961): «L'etude structurale des groupes». *Bulletin de Psychologie 13*: 417-425.

—(1963): *Applications of Graph Theory to Group Structure*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

—(1965): *Réseaux de Communication et Structures de Groupes*. Paris: Dunod.

FREEMAN, L. C. (1977): «A set of measures of centrality based on betweenness». *Sociometry 40*: 35-41.

GARRISON, W. L. (1960): «Connectivity of the interstate highway system». *Papers and Proceeding of the Regional Science Association 6*: 121-137.

GLANZER, M. y R. GLASER (1956): *Techniques for the Study of Team Structure and Behavior. Part II: Empirical Studies of the Effects of Structure*. Technical Report. Pittsburg: American Institute.

—(1961): «Techniques for the study of group structure and behavior. II. Empirical studies of the effects of structure in small groups». *Psychological Bulletin 58*: 1-27.

HAKIMI, S. L. (1965): «Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph». *Operations Research 12*: 450-459.

HARARY, F., R.Z. NORMAN y D. CARTWRIGHT (1965): *Structural Models: An Introduction to the Theory of Directed Graphs*. Nueva York: Wiley.

KAJITANI, Y. y T. MARUYAMA (1976): «Functional expression of centrality in a graph: an application to the assessment of communication networks». *Electronics and Communication in Japan 59-A*: 9-17.

LEAVITT, H. J. (1949): *Some Effects of Certain Communication Patterns on Group Performance*. Tesis doctoral no publicada, Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.

—(1951): «Some effects of communication patterns on group performance». *Journal of Abnormal and Social Psychology 46*: 38-50.

MACKENZIE, K. D. (1964): *A Mathematical Theory of Organizational Structure*. Tesis doctoral, Berkeley: University of California.

—(1966a): «Structural centrality in communication networks». *Psychometrika 31*: 17-25.

—(1966b): «The information theoretic entropy function as a total expected participation index for communication network experiments». *Psychometrika 31*: 249-254.

MOXLEY, R. L. y N. F. MOXLEY (1974): «Determining point-centrality in uncontrived social networks». *Sociometry 37*: 122-130.

MULDER, M. (1956): «Groepsstructuur en Gedrag». *Nederlands Tijdschrif voor de Psychologie 11*: 85-133.

—(1958): *Groepsstructuur, Motivatie en Prestatie*. Den Haag: COP.

NIEMINEN, J. (1973): «On the centrality in a directed graph». *Social Science Research 2*: 371-378.

—(1974): «On centrality in a graph». *Scandinavian Journal of Psychology 15*: 322-336.

PITTS, F. R. (1965): «A graph theoretic approach to historical geography». *The Professional Geopgrapher 17*: 15-20.

ROGERS, D. L. (1974): «Sociometric analysis of interorganizational relations: application of theory and measurement». *Rural Sociology 39*: 487-503.

ROGERS, E. M. y R. AGARWALA-ROGERS (1976): «Communication networks in organizations». *Communication in Organizations*: 108-148. Nueva York: Free Press.

SABIDUSSI, G. (1966): «The centrality index of a graph». *Psychometrika 31*: 581-603.

SARASON, S., C. CARROL, K. MATON, S. CHOEN y E. LORENTZ (1978): *Resources, Community and Exchange Networks*. San Francisco: Jossey Bass.

SHAW, M. E. (1954): «Group structure and the behavior of individuals in small groups». *Journal of Psychology 38*: 139-149.

—(1964): «Communication networks». En L. BERKOVITZ (ed.), *Advances in Experimental social Psychology*, Vol. VI: 111-147. Nueva York: Academis Press.

SHIMBEL, A. (1953): «Structural parameters of communication networks». *Bulletin of Mathematical Biophysics 15*: 501-507.

SMITH, S. L. (1950): *Communication Pattern and the Adaptability of Task-oriented Groups: an Experimental Study*. Cambridge, MA: Group Networks Laboratory, Research laboratory of Electronics, Massachusetts Institute of Technology.

SNADOWSKI, A. (1972): «Communication network research: an examination of controversies». *Human Relations 25*: 283-306.

UHLENBECK, G. E. y G. W. FORD (1962): *Theory of Linear Graphs: Studies in Statistical Mechanics*: 167-181. Amsterdam: North Holland.