

## Los hilos invisibles de la historia: explorando la dinámica de las sociedades antiguas a través del Análisis de Redes Sociales

*The Invisible Threads of History: Exploring the Dynamics of Ancient Societies through Social Network Analysis*

Joaquín Jiménez-Puerto  
Universitat de València  
<https://orcid.org/0000-0001-9760-9602>  
joaquin.jimenez@uv.es

Recibido: 09/03/2024; Revisado: 31/07/2024; Aceptado: 13/10/2024

### Resumen

Imagine el mundo antiguo como un vibrante tapiz tejido con innumerables hilos de relaciones entre artefactos, personas y comunidades. El Análisis de Redes Sociales (ARS) ofrece una lente a través de la cual podemos explorar estas intrincadas conexiones, transformando los registros arqueológicos estáticos en narrativas de interacción humana. Este artículo se adentra en la aplicación del ARS en la Arqueología, destacando cómo este método nos permite mapear las redes ocultas que moldearon las sociedades del pasado. Al emplear técnicas avanzadas de análisis de datos y visualización, el ARS proporciona poderosos métodos para descubrir la compleja red de interacciones que influyeron en el desarrollo y la transformación de las comunidades antiguas. El artículo no solo introduce los fundamentos teóricos del ARS, sino que también muestra sus aplicaciones prácticas, presentando un caso convincente de su potencial para revolucionar la investigación arqueológica. A través de esta herramienta, obtenemos nuevas perspectivas sobre la difusión de artefactos, ideas y prácticas culturales, enriqueciendo en última instancia nuestra comprensión de la historia humana.

**Palabras clave:** Análisis de Redes Sociales, Arqueología, Ciencia de Redes, Análisis Histórico.

### Summary

Imagine the ancient world as a vibrant tapestry woven with countless threads of relationships among artifacts, individuals, and communities. Social Network Analysis (SNA) offers a lens through which we can explore these intricate connections, transforming static archaeological records into narratives of human interaction. This article gets deep into the application of SNA in archaeology, highlighting how this method allows us to map the hidden networks that shaped past societies. By employing advanced data analysis and visualization techniques, SNA provides powerful methods to uncover the complex web of interactions that influenced the development and transformation of ancient communities. The article not only introduces the theoretical foundations of SNA but also displays its

practical applications, presenting a compelling case for its potential to revolutionize archaeological research. Through this tool, we gain new perspectives on the diffusion of artifacts, ideas, and cultural practices, enriching our understanding of human history.

**Keywords:** Social Network Analysis, Archaeology, Network Science, Historical Analysis.

## 1. INTRODUCCIÓN

El registro arqueológico es, por naturaleza, desorganizado y fragmentario, creado a lo largo de extensos periodos de tiempo. Desde las teorías de formación del registro arqueológico desarrolladas por la Arqueología procesual en los años 60 y otras técnicas posteriores como la Geoarqueología y la Tafonomía, se ha dejado de considerar que la Arqueología proporcione imágenes fijas del pasado. Estas «estampas inmóviles» no permiten observar las interacciones dinámicas entre objetos, personas y sociedades que los produjeron (BINFORD, 1981). En realidad, el registro arqueológico está continuamente afectado por diversos procesos de formación, incluyendo la intervención arqueológica misma, lo que implica un constante cambio y transformación. Por lo tanto, la Arqueología siempre enfrenta la complejidad de estudiar las relaciones entre los objetos materiales y las coyunturas sociales que los produjeron.

El Análisis de Redes Sociales (ARS), conocido como Social Network Analysis (SNA) en la literatura anglosajona, es un método destacado para cuantificar conceptos como conectividad y robustez. Este enfoque sirve para detectar y analizar las relaciones entre objetos, individuos y comunidades, proporcionando un sistema descriptivo que facilita la visualización de las relaciones entre actores en forma de nodos y enlaces. Además, el ARS incluye una amplia gama de herramientas matemáticas para describir las propiedades de la estructura de red derivada (HARARY *et al.*, 1965).

Este artículo tiene como objetivo introducir el ARS en el contexto de la Arqueología, destacando su relevancia y aplicaciones potenciales. Se busca proporcionar una base teórica sólida y accesible para las personas que se inician en esta metodología, asegurando que los términos y conceptos se expliquen de manera clara y comprensible. Al enfocar el artículo exclusivamente en el ARS, pretendemos facilitar su comprensión y fomentar su uso en estudios arqueológicos, especialmente en la Arqueología hispana.

## 2. EL ARS ANALIZA REDES. PERO ¿QUÉ SON LAS REDES?

¿Qué es una red? La palabra «red», es una metáfora que refleja la idea de conectividad. En su definición más sencilla, una red es básicamente un conjunto de nodos que describen los elementos de un sistema complejo. Estos elementos están conectados por una serie de enlaces, que permiten describir la compleja urdimbre de relaciones entre ellos.

En el contexto del Análisis de Redes Sociales (ARS), un nodo representa un punto o entidad dentro de una red. Los nodos pueden ser individuos, organizaciones, eventos, o cualquier otro elemento que forme parte de un sistema. Por ejemplo, en una red social, cada persona se consideraría un nodo. Una arista (también llamada enlace o conexión) es la línea que une dos nodos, representando una relación o interacción entre ellos. Las aristas pueden ser dirigidas, indicando una relación en una dirección específica (como un correo electrónico enviado de una persona a otra), o no dirigidas, indicando una relación bidireccional (como una amistad mutua). La combinación de nodos y aristas forma la estructura básica de una red.

Las redes son especialmente útiles para representar las interacciones (enlaces) entre individuos y grupos en las sociedades humanas (nodos) (WASSERMAN and FAUST, 1994). La mayoría de las redes tienen un equilibrio entre aleatoriedad y orden. La estocasticidad, o naturaleza probabilística, es una característica común en las redes complejas, aunque no son completamente aleatorias. Siguen principios organizativos que las hacen funcionales.

La Ciencia de las Redes asume que la estructura de un sistema complejo contiene información acerca de la función que desempeña. Este campo ha caracterizado las estructuras de las redes con el fin de incrementar nuestra comprensión de los Sistemas Complejos. La Ciencia de las Redes abarca métodos como la inferencia de redes y la caracterización estructural. Además, no se limita solo a la estructura de las redes; también busca entender cómo las redes influyen en los procesos sociales y predecir el comportamiento de los sistemas complejos que representan (BIANCONI, 2018).

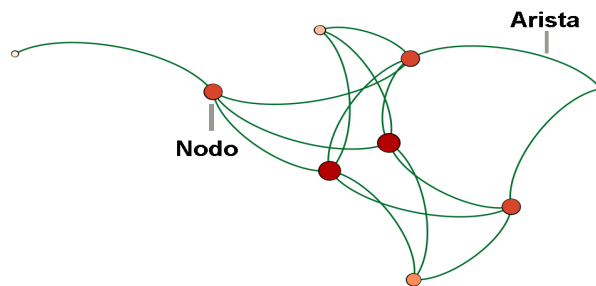


Fig. 1. Ejemplo de grafo.

Es en el carácter de relaciones y objetos donde reside la naturaleza de las redes. Los objetos representados pueden ser cualquier cosa (yacimientos, palabras, bacterias etc.) y las relaciones pueden reflejar conceptos varios (intercambio, contagio, pertenencia, etc.). Una metáfora ilustrativa consideraría los objetos como los sustantivos de una oración mientras que el verbo serían la relación entre

ellos. El ARS tiene la vocación de describir de las propiedades estructurales del conjunto a partir de sus relaciones (JIMÉNEZ-PUERTO, 2022).

Las redes han visto el desarrollo, por parte de la comunidad académica, de gran cantidad de métricas de análisis, lo que convierte el estudio de redes en un método analítico muy potente para explorar grandes paquetes de datos. El ARS es por tanto una herramienta más que no invalida otras metodologías, sino que proporciona nuevos enfoques a problemas cuyos datos puedan ser expresados en forma relacional.

### 3. EL ESTUDIO DE LA COMPLEJIDAD SOCIAL A TRAVÉS DEL ARS

El ARS ha ganado popularidad en las primeras décadas del siglo XXI. Las teorías de la dinámica no lineal y la complejidad han impulsado su desarrollo y adopción en la ciencia. Según estadísticas de Web of Science, ha habido un aumento exponencial de publicaciones en «Artes y Humanidades» que incluyen «Social Network Analysis» en sus títulos, lo que muestra la expansión de este método (ver Fig. 2). Esta tendencia reciente también se refleja en la creación de bases para su aplicación (BRUGHMANS and PEEPLES, 2023).

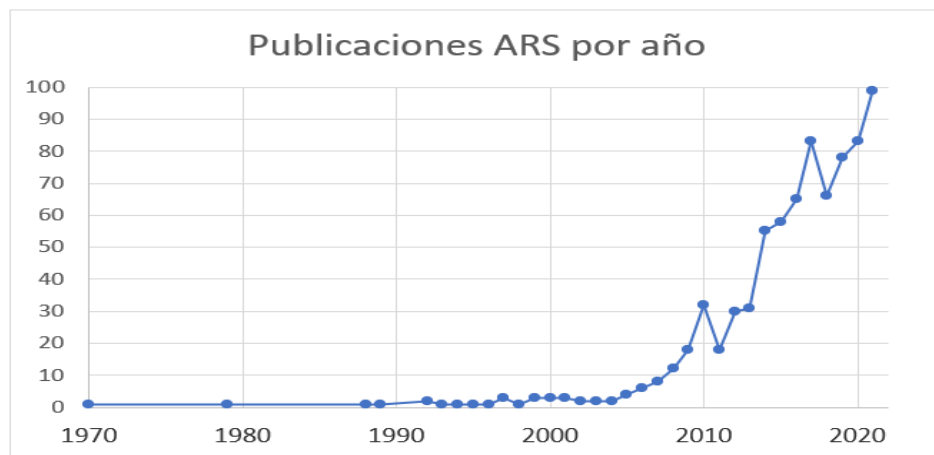


Figura 2. Publicaciones relacionadas con ARS o que contengan la palabra «social network analysis», en publicaciones de «Arts and Humanities», según el portal Web of Science, ordenadas por años, hasta 2023.

El enfoque relacional del ARS permite plantear una amplia variedad de problemas antropológicos. La incorporación del ARS a la antropología ha facilitado la adopción de postulados de los Sistemas Complejos por algunas escuelas arqueológicas. Este paradigma permite caracterizar la estructura de un conjunto a partir de un subconjunto de datos relacionales, algo especialmente

útil en Arqueología. La complejidad es una característica inherente a todas las sociedades humanas, independientemente de su grado de desarrollo técnico (REYNOSO, 2011).

La Teoría de la Complejidad tiene un gran potencial interpretativo para comprender propiedades de las sociedades humanas, como la emergencia y la no-linealidad (BERNABEU *et al.*, 2012; DAEMS, 2021; KOHLER *et al.*, 2017). Además, la «Actor-Network Theory» (ANT) ha influido significativamente en la Arqueología, utilizando la metáfora de la red para el análisis social (LATOUR, 2007; VAN OYEN, 2015). Aunque ARS y ANT son modelos distintos, comparten una gramática común que podría explorarse más a fondo en el futuro. Otro modelo que utiliza redes como metáfora analítica es el de HODDER (2012), quien ha teorizado sobre métodos y modelos de representación basados en análisis de redes (HODDER and MOL, 2016).

El marco conceptual de la Ciencia de Redes permite representar sistemas complejos en forma de redes, habilitando métodos matemáticos de cuantificación y análisis (NEWMAN, 2003). Sin embargo, es crucial recordar que la representación matemática de las relaciones no garantiza una interpretación correcta ni la extracción de conclusiones automáticas. El ARS es una técnica de análisis que no está vinculada a movimientos teóricos específicos como el estructuralismo (REYNOSO, 2011). Aunque todo método lleva implícitas sus propias preguntas, el ARS ofrece un enfoque útil para diversas corrientes arqueológicas.

La aplicación del ARS en Arqueología es reciente y aún no presenta un corpus metodológico homogéneo, aunque se han realizado aportes esenciales (BRUGHMANS and PEEPLES, 2023; COLLAR *et al.*, 2015; KNAPPETT, 2011). Aunque las técnicas de grafos se han utilizado en Arqueología desde los años 60, inicialmente solo se usaban para visualizar relaciones, no para analizarlas. Las aplicaciones tempranas de grafos en Arqueología, aunque similares al ARS, no tuvieron un impacto significativo en investigaciones posteriores (IRWIN-WILLIAMS, 1977).

El ARS se desarrolló como herramienta de investigación en ciencias sociales a partir de la sociometría, que mide relaciones interpersonales en grupos pequeños y se desarrolló en los años 30 (BRUGHMANS, 2013). WASSERMAN y FAUST (1994) establecieron principios para las aplicaciones del ARS, especificando claramente su alcance social. Estos principios han hecho del ARS una herramienta capaz de integrar diversas escalas de análisis, útil para muchas investigaciones en ciencias sociales.

El enfoque en los entes sociales, desde la perspectiva de las redes, se ha demostrado útil a la hora de realizar aproximaciones a una gran cantidad de temas de investigación en ciencias sociales. Los métodos formales del ARS han sido utilizados con gran profusión dentro de las Ciencias Sociales, donde han desarrollado un corpus metodológico coherente (WASSERMAN and FAUST 1994), que permite poner a prueba las hipótesis, relativas a la estructura social representada en los grafos (HARARY *et al.* 1965).

Este corpus se ha desarrollado a la sombra del debate existente en ciencias sociales sobre la primacía de las estructuras o la agencia a la hora de explicar el comportamiento humano. La agencia es la capacidad de las personas para

actuar con libertad e independencia, mientras que las estructuras son las pautas estables y recurrentes que influyen o limitan las elecciones disponibles y en Arqueología dispone de una extensa bibliografía (BARRETT, 2012; DOBRES and ROBB, 2000). Aunque normalmente en el campo la agencia es fundamentalmente aplicada a los objetos (RIBEIRO, 2016; SØRENSEN, 2018), en este caso nos referimos a la vertiente social. Es decir, si los individuos se comportan como agentes libres o como peones de la estructura social: socialización vs autonomía.

En el contexto social estos dos conceptos no representan otra cosa que distintos niveles del mismo sistema. En resumen, y a modo de simplificación, se puede relacionar el nivel micro con los agentes individuales del sistema, al nivel meso con los agentes que interactúan con comunidades y al nivel macro a comunidades que interactúan con comunidades (RIVERS 2016). La teoría de redes y el ARS resultan extremadamente adecuadas en este contexto, ya que permiten la integración de las dos esferas: macro -estructura- y micro -agencia-.

#### 4. TIPOS DE REDES

Para realizar un estudio mediante Análisis de Redes Sociales (ARS), es esencial definir claramente las preguntas de investigación, identificar los nodos y enlaces que formarán la red, y seleccionar los datos adecuados. Además, es necesario evaluar la muestra para garantizar que las inferencias sean precisas y fiables. A continuación, se describen diferentes tipos de redes, clasificados según diversos aspectos que definen sus interacciones.

El primer tipo de red que se puede considerar es la distinción entre redes dirigidas y no dirigidas. Las redes no dirigidas están formadas por interacciones en las que las relaciones no tienen una dirección específica. Un ejemplo de este tipo de red es Facebook, donde la conexión entre dos personas no indica quién inició la amistad. Por otro lado, en las redes dirigidas, las relaciones tienen una dirección definida. Un ejemplo de red dirigida es la World Wide Web, donde una página web puede enlazar a otra, pero ese enlace no necesariamente es recíproco.

Otra clasificación importante de las redes es entre redes ponderadas y no ponderadas. En las redes no ponderadas, las interacciones están simplemente presentes o ausentes, sin medir la intensidad de la conexión. En cambio, las redes ponderadas asocian un peso a cada interacción, que mide de alguna forma la «intensidad» de la interacción. Por ejemplo, en una red de colaboración académica, el peso podría representar el número de publicaciones conjuntas entre dos investigadores.

Además, las redes pueden definirse por las propiedades de sus nodos. Las redes unimodales son aquellas que contienen un solo tipo de nodo. Por ejemplo, una red de amigos donde todos los nodos representan personas. En contraste, las redes bimodales contienen dos tipos de nodos diferentes que se relacionan exclusivamente entre ellos. Un ejemplo de red bimodal sería una que conecte personas con eventos a los que han asistido.

La topología de las redes es otra forma de clasificarlas, describiendo cómo los nodos están conectados en la red. Las redes aleatorias son aquellas en las que los nodos se conectan de manera aleatoria. En este tipo de redes, cada enlace entre dos nodos tiene la misma probabilidad de existir. Un modelo clásico de red aleatoria es el modelo de Erdős-Rényi, donde cada par de nodos tiene una probabilidad fija de estar conectado. Estas redes tienden a tener una distribución homogénea de enlaces y no presentan nodos significativamente más conectados que otros.

Un tipo destacado de red es la red de mundo pequeño, descubierta por Milgram en 1967 (MILGRAM, 1967). Milgram demostró que los nodos en una red social están sorprendentemente cerca unos de otros, con pocas conexiones intermediarias. Estas redes no son completamente ordenadas ni aleatorias, combinando propiedades de ambas y permitiendo la rápida transmisión de información, haciendo que cualquier nodo puede ser alcanzado desde otro en pocos pasos. (WATTS, 2003). Las redes de mundo pequeño son comunes en la vida real, donde las personas se relacionan de manera no aleatoria.

En nuestra vida cotidiana nos relacionamos con personas de forma no aleatoria. WATTS y STROGATZ (1998) propusieron un modelo que explicara la universalidad de la estructura de mundo pequeño, observada en las redes reales. Descubrieron un criterio para saber si una red es un mundo pequeño: se requería que la distancia entre dos elementos fuera similar a la que esperaríamos en una red aleatoria como la de ERDÖS y RENYI (1959). Además, tienen muchos más subconjuntos de tres nodos conectados entre sí (llamados triángulos) que la que esperaríamos en la misma red aleatoria. Como resumen podemos decir que en una red de mundo pequeño los nodos muestran una gran proximidad entre ellos y los cambios en un elemento del sistema pueden afectar a cualquier otro elemento, de forma relativamente rápida.

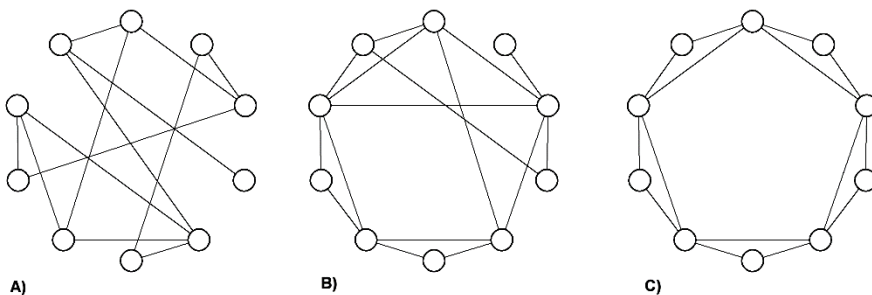


Figura 3. Diferentes topologías de red. A) Redes Aleatorias, B) de Mundo pequeño y C) Regulares.

Otro ejemplo de red compleja es la red libre de escala. En este tipo de grafo, la red resultante no está dirigida por una autoridad central y se caracterizan por

una distribución de conexiones que sigue una ley de potencia. Expresado de otra forma: en estas redes la mayoría de los nodos poseen sólo una conexión, y unos pocos están conectados a muchos nodos y son denominados concentradores (*hubs*). Estos *hubs* son cruciales para la eficiencia de la red, pero su eliminación puede afectar drásticamente la conectividad (SOLE, 2008). Una de las propiedades que rigen estas redes es que el grado de los nodos sigue una distribución potencial (*power-law*). Este tipo de redes son comunes en sistemas como Internet o en las redes neuronales, y permiten que la información fluya de forma óptima, aunque son vulnerables a los ataques a los concentradores.

En las redes regulares, todos los nodos tienen el mismo número de conexiones. Este tipo de red es muy ordenado y estructurado, con una distancia fija entre nodos. Aunque son muy robustas y resistentes a la eliminación de nodos, su estructura regular implica que la transmisión de información puede ser lenta, ya que la distancia a recorrer para llegar de un nodo a otro es mayor en comparación con las redes de mundo pequeño.

En las redes centralizadas, un pequeño número de nodos altamente conectados actúa como el núcleo de la red, dirigiendo la mayoría de las conexiones. Estas redes son eficientes para la transmisión de información, pero son muy vulnerables si los nodos centrales fallan. Por otro lado, las redes descentralizadas distribuyen las conexiones de manera más uniforme entre los nodos, lo que las hace más robustas frente a fallos, aunque pueden ser menos eficientes en la transmisión de información.

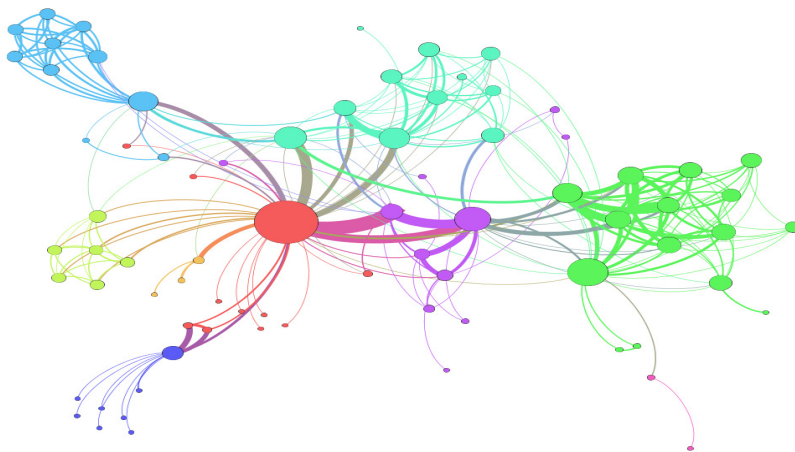


Figura. 4. Red libre de escala.



Las redes distribuidas son aquellas en las que no existe un nodo central dominante y todos los nodos tienen un número similar de conexiones. Este tipo de red es altamente robusta y resistente a fallos, ya que la eliminación de cualquier nodo tiene un impacto mínimo en la conectividad global. Sin embargo, la transmisión de información puede ser menos eficiente en comparación con las redes centralizadas debido a la falta de nodos altamente conectados.

En muchos casos las redes se expanden y crecen al incrementarse su número de nodos y enlaces a lo largo del tiempo. Tal es el caso de Internet o las redes cerebrales. Siguiendo estas premisas, el modelo de Barabasi muestra como al añadir nuevos enlaces a una red, el crecimiento y el enlace preferencial son los mecanismos fundamentales que dan lugar a topologías de redes libres de escala (BIANCONI, 2018). Este enlace preferencial implica que la probabilidad de vincularse a un nuevo nodo es linealmente proporcional al número de enlaces que tiene el nodo destino. También se llama a este fenómeno Efecto San Mateo, o *Rich gets richer* (CLAUSET *et al.*, 2009; NEWMAN, 2003). Resulta especialmente interesante en redes sociales, ya que implica que aquellos nodos mejor conectados tienen más posibilidades de adquirir más conexiones que los que tienen pocas.

El modo en que se conectan los nodos entre sí también da lugar a casos particulares. Un caso especial es el de las redes regulares. En los grafos regulares todos los nodos de la red tienen el mismo número de vecinos. Esta característica exige que, para llegar de un extremo a otro de la red, la distancia que se debe transitar sea comparable al tamaño total de la red. Las redes distribuidas pertenecen a esta categoría y son especialmente robustas y resistentes a desapariciones de nodos, pero poco eficientes a la hora de transmitir la información con celeridad.

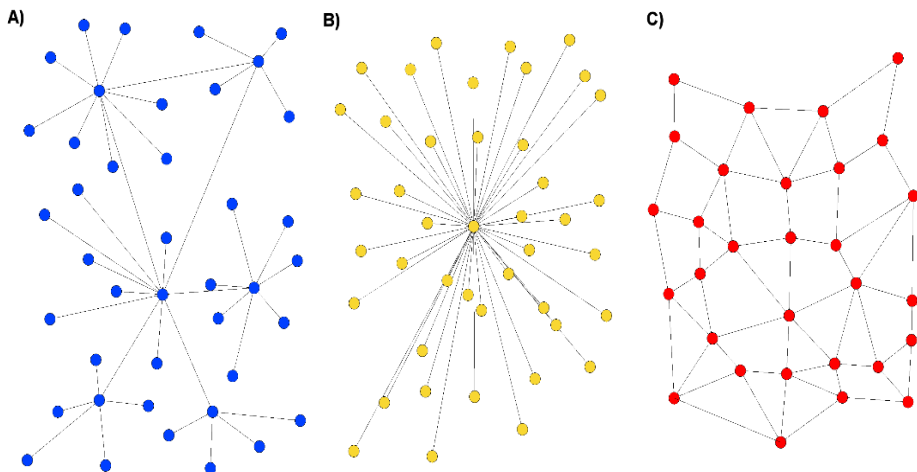


Figura 5. A) Red descentralizada, B) Red centralizada, C) Red distribuida.

### 1. Clasificación por Dirección de las Interacciones

- **Redes no dirigidas:**
  - Ejemplo: Facebook.
  - Característica: Las relaciones no tienen una dirección específica.
- **Redes dirigidas:**
  - Ejemplo: World Wide Web.
  - Característica: Las relaciones tienen una dirección definida.

### 2. Clasificación por Intensidad de las Interacciones

- **Redes no ponderadas:**
  - Característica: Las interacciones están presentes o ausentes sin medir la intensidad.
- **Redes ponderadas:**
  - Característica: Cada enlace tiene un peso que refleja la «intensidad» de la interacción.
  - Ejemplo: Redes de colaboración académica (peso podría ser el número de publicaciones conjuntas).

### 3. Clasificación por Tipos de Nodos

- **Redes unimodales:**
  - Característica: Contienen un solo tipo de nodo.
  - Ejemplo: Redes de amigos (todos los nodos representan personas).
- **Redes bimodales:**
  - Característica: Contienen dos tipos de nodos diferentes que se relacionan exclusivamente entre ellos.
  - Ejemplo: Redes que conectan personas con eventos a los que han asistido.

### 4. Clasificación de Redes en Función de su Tipología

- **Redes Aleatorias**
  - Características: Distribución homogénea de enlaces, sin nodos significativamente más conectados que otros.
  - Ejemplo: Redes no empíricas.
- **Redes de Mundo Pequeño**
  - Características: Alta frecuencia de triángulos, distancias cortas entre nodos.
  - Ejemplo: Redes sociales
- **Redes Libres de Escala**
  - Características: La mayoría de los nodos tienen pocas conexiones, unos pocos nodos (hubs) tienen muchas conexiones.
  - Ejemplos: Internet.
- **Redes Regulares**
  - Características: Muy ordenadas y estructuradas, distancias fijas entre nodos.
  - Ejemplo: Red de fibra óptica
- **Redes Centralizadas y Descentralizadas**
  - **Redes Centralizadas:**
    1. Características: Alta eficiencia en transmisión de información, alta vulnerabilidad si los nodos centrales fallan.
    2. Ejemplo: Red de telecomunicaciones

- **Redes Descentralizadas:**
  1. Descripción: Conexiones distribuidas de manera más uniforme entre los nodos.
  2. Ejemplo: Redes P2P
- **Redes Distribuidas**
  1. Características: Alta robustez y resistencia a fallos, impacto mínimo de la eliminación de cualquier nodo.
  2. Ejemplo: red eléctrica

Esquema 1. Esquema de los tipos de redes.

## 5. MÉTRICAS DE ANÁLISIS

El ARS utiliza una terminología propia que es importante entender. Las métricas de análisis son herramientas cuantitativas que permiten medir y entender diversas propiedades y comportamientos de las redes. Estas métricas nos ayudan a interpretar grandes conjuntos de datos relacionales, proporcionando una comprensión más profunda de cómo los nodos (entidades) y las aristas (relaciones) interactúan dentro de una red.

A continuación, se explican algunas de las métricas más comunes, aunque existen muchísimas más. Estas métricas pueden dividirse en tres grandes categorías, en función de la escala de análisis en la que funcionan: estructurales (macro), intermedias (meso) e individuales (micro). Su capacidad para aportar información sobre la red a través del ruido de fondo de los datos, señalando zonas que pueden necesitar una atención más profunda, es especialmente significativa en el estudio de las redes del pasado.

### 5.1. Medidas estructurales

Las medidas estructurales permiten obtener una visión general del comportamiento de la red y su topología. Esto es relevante ya que, en función de cuál sea esta topología, es posible predecir comportamientos, detectar los puntos más sensibles de la red, etc. Además, proporcionan una primera impresión del funcionamiento de la red y son relativamente fáciles de obtener. Estas incluyen el grado promedio de la red, la densidad, el agrupamiento, la métrica de camino y la ratio de reemplazo de nodos.

El primer concepto clave en ARS es el grado de una entidad o nodo. El grado se expresa de forma cuantitativa y representa la cantidad de otras entidades con las que un nodo tiene una relación (conexiones). Si el grafo es dirigido, el nodo tendrá un valor para el grado de salida (número de conexiones que parten de él) y otro para el grado de entrada (número de conexiones que llegan a él). En un grafo no dirigido, cada nodo tiene un valor único para el grado.

A partir de los valores individuales se obtiene la métrica del **grado medio**, que es una medida simple pero muy útil en el análisis de redes. Nos dice, en

promedio, cuántas conexiones (o aristas) tiene cada nodo en una red. El grado medio se utiliza para obtener una idea general de la conectividad de la red. Permite comparar diferentes redes, ya que, por ejemplo, una red social con un grado medio alto indica que las personas están muy conectadas entre sí. Ayuda a entender la estructura general de la red. Además, en redes dinámicas como las redes sociales en línea, observar el cambio en el grado medio a lo largo del tiempo puede ayudar a detectar cambios en la interacción de los usuarios.

En el análisis de redes sociales, la métrica de camino medio trata de entender cómo se conectan los puntos (llamados nodos) en una red. Imagine que estos puntos son como esquinas de una ciudad y que las líneas entre ellos, llamadas enlaces o aristas, son las calles que las conectan. Cuando hablamos de un camino en una red, nos referimos a la ruta que se puede tomar para ir de un punto a otro sin repetir las mismas esquinas. Un camino mínimo es la forma más corta de llegar de un nodo a otro, usando la menor cantidad de enlaces. Esto es como encontrar la ruta más rápida entre dos esquinas de la ciudad, donde la distancia se mide por el número de calles que cruzas. El diámetro de la red, por otro lado, es la mayor distancia entre cualquier par de puntos en toda la red.

La **longitud de camino medio** es un número que nos dice, en promedio, cuántas calles necesitas cruzar para ir de una esquina a cualquier otra en la red. Esto nos ayuda a entender como de bien conectada está la red en general. Si este número es bajo, significa que la red es eficiente y que es fácil y rápido moverse de un lugar a otro. Esto también indica que la red es bastante fuerte y resistente a cambios o problemas, porque incluso si alguna conexión se rompe, probablemente haya otras rutas cortas que todavía te lleven a donde necesitas ir. Podemos concluir que la longitud de camino medio cuantifica la eficiencia en la transmisión de información y la fortaleza de la red ante alteraciones, indicando el promedio de aristas necesarias para conectar dos nodos cualesquiera de la forma más directa (BRUGHMANS, 2013). Esta mencionada distancia cuando la red represente una comunidad está relacionada con la distancia social, que mide los pasos necesarios para que un actor se relacione con otro. Puede influir en la difusión de información y en la estabilidad social, ya que distancias grandes pueden llevar a la desestabilización y al cambio en el seno de una sociedad (CEGIELSKI, 2020).

La **densidad** de una red es una métrica que se utiliza para entender cuán conectados están los nodos entre sí. Se calcula como la proporción de conexiones reales en la red en comparación con el número máximo posible de conexiones. Una red con alta densidad tiene muchos enlaces entre los nodos, mientras que una red con baja densidad tiene pocos enlaces. Esta métrica es útil por varias razones: permite comparar la conectividad entre diferentes redes, proporcionando una visión rápida de cuán intensamente interactúan los elementos de la red. Ayuda a entender la cohesión de la red; por ejemplo, en una red de colaboración científica, una alta densidad puede indicar un alto nivel de cooperación entre investigadores. También es útil para detectar cambios en la red a lo largo del tiempo, como en redes sociales, donde un aumento en la densidad podría reflejar un aumento en las interacciones entre usuarios.

El coeficiente de **agrupamiento**, o clustering, mide la tendencia de los nodos a formar grupos cerrados o clústeres. Específicamente, calcula la proporción de triángulos (grupos de tres nodos todos interconectados) respecto al número de triadas posibles (grupos de tres nodos donde al menos dos están conectados). Esta métrica es crucial por varias razones: permite comparar la cohesión local dentro de diferentes redes, indicando cómo de propensos son los nodos a formar grupos estrechamente conectados. Ayuda a entender la estructura de la red, ya que un alto coeficiente de agrupamiento sugiere que los nodos tienden a formar comunidades o clústeres, lo que puede ser relevante en contextos como redes sociales o biológicas. También es útil para detectar patrones de agrupamiento a lo largo del tiempo, como en redes de colaboración, donde un aumento en el coeficiente de agrupamiento podría indicar una mayor tendencia a la formación de equipos de trabajo.

## 5.2. Medidas intermedias

Las métricas intermedias en ARS se centran en la identificación y análisis de subestructuras dentro de la red, como comunidades o agrupamientos (*clusters*). Estas métricas son cruciales porque revelan cómo los nodos se agrupan en subredes más cohesivas, proporcionando información sobre la organización interna y la dinámica de la red. Al entender estas comunidades, se pueden identificar patrones de interacción, influencias y estructuras de soporte dentro de la red, ofreciendo una visión más detallada y granular del comportamiento colectivo de los nodos.

La detección de comunidades en redes es un proceso fundamental en ARS que permite identificar grupos de nodos más densamente conectados entre sí que con el resto de la red. Este análisis es crucial para entender la estructura interna y las dinámicas de interacción dentro de la red. Una de las métricas clave en la detección de comunidades es la **modularidad**, que cuantifica la calidad de la división de la red en comunidades. Redes con alta modularidad tienen conexiones densas entre los nodos de la misma comunidad y conexiones más débiles con nodos de otras comunidades. Esta propiedad es especialmente útil para identificar subgrupos en redes sociales, biológicas y de colaboración, ayudando a revelar patrones ocultos de organización y comportamiento.

El algoritmo Louvain es una técnica popular para la **detección de comunidades** debido a su alta velocidad de procesamiento y la calidad de sus resultados. Este algoritmo itera sobre comunidades individuales, agregándolas progresivamente mientras se dé la condición de que los enlaces entre comunidades mantengan una buena modularidad (BLONDEL *et al.*, 2008). La eficacia del algoritmo Louvain radica en su capacidad para manejar grandes redes con rapidez y precisión, haciendo posible el análisis de redes complejas en tiempos razonables.

El método Leiden es una mejora del algoritmo Louvain, permitiendo más iteraciones y correcciones, lo que resulta en una detección de comunidades aún más eficiente (TRAAG *et al.*, 2019). Esta mejora no solo aumenta la velocidad

del procesamiento, sino que también garantiza una mayor precisión en la identificación de las comunidades, haciendo que el análisis sea más robusto y fiable. En resumen, estos algoritmos proporcionan herramientas poderosas para el análisis detallado de la estructura comunitaria en redes, facilitando la comprensión de las interacciones y relaciones dentro de los sistemas complejos.

### 5.3. Medidas individuales

Las medidas individuales, también conocidas como medidas de centralidad, son esenciales para cuantificar la importancia de un nodo dentro de la red. Estas métricas destacan qué nodos son más influyentes, conectados o estratégicamente posicionados, proporcionando una visión detallada del papel que cada nodo desempeña en la estructura global de la red. En Arqueología, estas medidas son especialmente útiles para identificar nodos clave, como sitios arqueológicos, artefactos o individuos, que desempeñan roles centrales en la difusión de información, intercambio de bienes o conexión entre diferentes subredes. Al comprender la centralidad de los nodos, se puede revelar información crítica sobre las dinámicas sociales y económicas de las sociedades estudiadas. Cada medida de centralidad aporta una definición de «importancia» diferente por lo que es necesario entender cómo funcionan para encontrar la más idónea en cada caso.

La más directa y simple es la centralidad de **grado**. Como mencionábamos antes expresa la cantidad de conexiones de un nodo. Sirve para encontrar individuos muy conectados, populares, que tienen mayor probabilidad de poseer más información o que pueden conectar más fácilmente con el resto de la red. En las distribuciones de ley potencial o redes libres de escala, muy habituales en las redes sociales reales, es normal encontrar unos pocos nodos con un alto grado (actores principales) y una gran mayoría de nodos con un grado bajo (FREEMAN 1978). Sin embargo, es una métrica que puede llevar a engaño ya que no tiene en cuenta la estructura de la red. Pueden existir nodos con un gran número de conexiones que no desempeñen un papel central en los flujos de transmisión de la información y viceversa. Tal como se observa en la Fig 6., en situaciones como la A y C, el grado no detectaría la importancia de los nodos en base a su grado, por lo que siempre se debe evaluar con cautela los resultados atribuidos a la centralidad de grado.

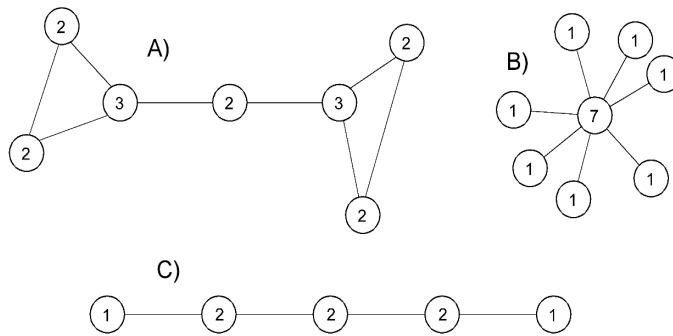


Figura 6. Distribuciones de grado. A) y C) grafos en los que el grado no permite identificar actores principales con claridad debido a la estructura de la red. B) grafo en que el grado sí lo permite.

La centralidad de **intermediación** -*betweenness*- mide el número de veces que un nodo está en el camino más corto entre otros nodos (FREEMAN *et al.* 1991). Indica qué nodos actúan como puentes entre nodos y sirve en los casos en que es necesario encontrar a los actores que ejercen mayor influencia en el flujo de un sistema. Es relevante en aquellas redes en las que se analice el modo en que se transmite la información. Por este motivo es interesante en los análisis arqueológicos, ya que puede señalar aquellos yacimientos cuya desaparición puede suponer una alteración de los flujos de información, en una red determinada.

Sin embargo, es necesario usarla con precaución ya que además de ser un indicador de autoridad sobre grupos dispares en la red o que estén en la periferia de dichos grupos. A pesar de las problemáticas asociadas, ambas métricas han sido investigadas de forma extensiva, y son especialmente prácticas en análisis sociales. Nodos con alta intermediación actúan como puentes y pueden controlar el flujo de información. Es importante utilizarlas con precaución, ya que un valor alto puede indicar nodos que conectan varios grupos o que están en la periferia de varios grupos, pero en la mayoría de las redes del mundo real están lo suficientemente estructuradas como para que estas dos métricas, grado e intermediación, resulten suficientemente relevantes (GUPTA *et al.* 2016).

Por otro lado, la centralidad de **cercanía** -*closeness*- muestra aquellos actores que están mejor ubicados para influenciar de forma rápida a la red en su globalidad. Indicando la capacidad que tienen para recopilar o diseminar información con celeridad. Nodos con alta centralidad de cercanía son accesibles y pueden influir eficazmente en la red. Además, puede ayudar a encontrar a los mayores difusores, aunque en una red muy conectada casi todos los nodos mostrarán un valor parecido. Es útil para encontrar los que ejercen una mayor influencia dentro de un grupo.

La última que trataremos será la centralidad de **vector propio** -*eigenvector*- y el que es una buena métrica para entender nuestra red en su globalidad e indica la

influencia de un nodo utilizando para ello el número de enlaces que tiene a otros (ALVAREZ-SOCORRO *et al.* 2015). Puede identificar nodos con influencia sobre toda la red (BORGATTI and EVERETT 2006).

### 1. Medidas estructurales (macro)

- **Grado promedio de la red:** Promedio de enlaces por nodo.
- **Densidad:** Proporción de enlaces presentes respecto a los posibles.
- **Agrupamiento (clustering):** Grado de agrupación de nodos en triángulos.
- **Longitud de camino medio:** Promedio de la distancia más corta entre pares de nodos.
- **Ratio de reemplazo de nodos (NTR):** Proporción de nodos reemplazados en un intervalo de tiempo.

### 2. Medidas intermedias (meso)

- **Modularidad:** Grado de división de la red en módulos o comunidades
- **Reconocimiento de comunidades:** Identificación de grupos densamente conectados.
- **Algoritmo Louvain:** Optimización de la modularidad en varias escalas.
- **Algoritmo Leiden:** Mejora del algoritmo Louvain, garantizando particiones bien conectadas.

### 3. Medidas individuales (micro)

- **Centralidad de grado:** Número de enlaces de un nodo.
- **Centralidad de intermediación (betweenness):** Frecuencia de un nodo en los caminos más cortos entre otros nodos.
- **Centralidad de cercanía (closeness):** Inverso de la suma de las distancias más cortas desde un nodo a todos los demás.
- **Centralidad de Eigenvector:** Importancia de un nodo basada en la importancia de sus vecinos.

Esquema 2. Principales métricas de análisis en ARS organizadas según categorías.

## 6. APLICACIONES DEL ARS EN ARQUEOLOGÍA

En la disciplina arqueológica, los métodos formales de redes han sido aplicados para explorar gran cantidad de materias de investigación: la transmisión de ideas, el movimiento de gente y objetos, la identificación de límites culturales y sociales, la interacción regional, la conectividad marítima o la prosopografía. Estas aplicaciones han conducido al desarrollo de diversas tradiciones de investigación, que comparten una serie de conceptos y aproximaciones relacionadas con las redes, tales como el enfoque en las relaciones entre entidades y en los patrones que emergen de ellos. En definitiva, el mensaje es simple: las relaciones están en todas partes, influyen las decisiones de la gente y a través de ellas se distribuyen y evolucionan la información y los objetos (BRUGHMANS, 2013). De este modo, las relaciones entre entidades deberían ser objeto de análisis si aspiramos a entender el comportamiento de estas entidades. Cómo es obvio e inherente a la disciplina arqueológica, los arqueólogos y arqueólogas sólo pueden observar o cuantificar los enlaces y los vértices de las relaciones humanas del pasado, mediante el estudio de los atributos observables presentes en las evidencias artefactuales residuales disponibles.



La descontextualización de la realidad social, en la que se encontraban estos elementos de cultura material, exige que se respondan a una serie de preguntas antes de emplear los métodos de ARS. Estos interrogantes son relativos al entorno social que produjo estos ítems y las actividades humanas con las que están relacionados (TERRELL, 2013). Estos problemas asociados han sido señalados por algunos trabajos previos, que destacan la importancia de los puntos fuertes del ARS, así como los sensibles. El potencial de ARS hacia la Arqueología no se reconoció con claridad hasta 1977, con los trabajos de Irwin-Williams (IRWIN-WILLIAMS, 1977), quien limitó su modelo a las relaciones comerciales de intercambio que conectaban asentamientos. Algunos de los tipos de relaciones que Irwin-Williams menciona, han conformado la base del posterior análisis de redes arqueológico y las aproximaciones que propuso para el análisis son parte de las técnicas básicas utilizadas por los analistas.

## 6.1. Principales técnicas analíticas

Muchas de las temáticas y técnicas analíticas utilizadas en investigaciones realizadas mediante ARS, tienen que ver con la visualización, métricas y experimentación de grandes paquetes de datos. Estas técnicas resultan útiles para demostrar la existencia de patrones y por tanto para proporcionar un nivel de comprobación de resultados obtenidos mediante otros medios. Además, algunos autores aseguran que su verdadera importancia para la Arqueología reside en su capacidad para evaluar y explorar las propiedades de bases de datos complejas (SINDBÆK, 2013), sin que se plasme en los algoritmos que la implementan una visión predeterminada de la historia. Para otros autores el ARS es diferente de las aproximaciones filogenéticas actuales (TERRELL, 2013), empleadas en Arqueología y basadas en los enfoques de «descendencia con modificación». En ARS no es necesario realizar ninguna suposición inicial acerca del hecho de que la gente tiende a imitar a otros a la hora de adquirir tradiciones culturales, en vez de desarrollar por sí mismos nuevas habilidades y/o tendencias; o la suposición de que los grupos humanos suelen constituirse a partir de la división de una comunidad original. Es por tanto posible comparar y trazar inferencias a partir de la distribución de elementos de las culturas materiales sin tener que colocar a las personas en presupuestas categorías iniciales de ningún tipo. O, dicho de otra manera, los individuos no residen en cajas tipológicas -ya sean culturales o sociales-, sino que viven en campos sociales con límites difusos (WELSCH and TERRELL 1998). Algunas de las temáticas y técnicas analíticas utilizadas en investigaciones realizadas mediante ARS, hasta la fecha son:

**1. Difusión de material y recursos inmateriales:** la difusión de recursos materiales e información han sido un tema de interés específico de la Arqueología. De acuerdo con la perspectiva que proporcionan las redes sociales, se puede aseverar que las relaciones sociales son canales de contagio social y de persuasión. Debido a esto han sido un instrumento clave para los procesos de difusión cultural.

El enfoque de este tipo de estudios se centra en explorar las relaciones entre las posiciones estructurales de los actores y el momento en el que adoptan una innovación. La estructura de la difusión de innovaciones muestra similitudes con la difusión de una enfermedad. En un primer momento los que adoptan el cambio son pocos, entonces este número aumenta de forma dramática y finalmente el índice de crecimiento comienza a decaer, tal como hemos podido observar en el reciente caso del COVID-19. Un caso concreto de aplicación de este paradigma ha estudiado la cerámica romana, distribuida desde el lugar de producción al lugar de deposición (BRUGHMANS y POBLOME, 2012). En otro caso ha permitido realizar un análisis de los itinerarios romanos, en el que se ha creado una red de pueblos conectados por las rutas mencionadas en los itinerarios Antoninos (GRAHAM, 2006) e incluso análisis prosopográficos acerca del mundo romano o el imperio asirio (GRAHAM y RUFFINI, 2007; JAUHAINEN y ALSTOLA, 2022).

**2. Análisis de centralidad en la red:** la detección de actores importantes en la red constituye una de las aplicaciones más comunes. Este enfoque posibilita la determinación de aquellos actores que tienen un acceso preferente a los flujos de información debido a la intermediación social que desempeñan. Este tipo de análisis se ha empleado en las investigaciones diversas, tales como la exploración de los principales ejes de comunicación pasados o en la detección de momentos de homogeneidad-fragmentación cultural (BERNABEU *et al.*, 2017; JIMÉNEZ-PUERTO, 2023; MIZOGUCHI, 2009; MONFORTE-BARBERAN *et al.*, 2023), o la caracterización de las fases presentes en el modelo de los ciclos adaptativos (JIMÉNEZ-PUERTO y BERNABEU, 2023).

**3. Análisis de redes de afiliación:** una parte significativa de los contextos sociales en los que los individuos están inmersos está modelado por su afiliación. ARS asume que la pertenencia a una organización o participación en un evento es un foco de vínculos sociales. Este tipo de aplicación tiene gran potencial para lidiar con la complejidad de las interacciones sociales pretéritas, gracias al mapeo genérico extensivo de contextos amplios o para pequeños contextos. En el estudio anterior de las cerámicas romanas fue aplicado también este tipo de análisis (BRUGHMANS y POBLOME, 2012).

**4. Análisis de redes egocéntricas:** es una técnica que estudia el entorno social que rodea a los individuos. Una aproximación basada en el estudio de las redes de ego, que se centra en la posición que tiene una persona en la red y sus oportunidades de mediar entre otras personas. Es una representación de la idea de que el individuo sólo tiene un conocimiento local de las redes sociales de las que forma parte. Las redes egocéntricas han sido muy poco utilizadas en Arqueología (BRUGHMANS, 2013).

**5. Análisis de redes multicapa:** los sistemas complejos raramente se componen de redes aisladas. Especialmente en redes sociales es posible distinguir entre muchos tipos diversos de enlaces -conocidos, amigos, familiares, compatriotas, etc.-. Las redes multicapa están conformadas por muchas redes en interacción. Para esta aproximación metodológica el foco se centra en caracterizar las interacciones entre varias redes interconectadas. Las hay de varios tipos:

- Redes multiplex: son el ejemplo más simple de redes multicapa. Suelen

usarse en casos en los que el mismo conjunto de nodos está conectado por enlaces que indican diferentes tipos de interacción. Es habitual asociar diferentes colores para cada tipo de enlace, de modo que a pesar de tener varias capas pueden representarse como una sola red coloreada, o en varios pisos -ver ejemplo-. Los enlaces dentro de una capa representan diferentes tipos de interacción, mientras que los enlaces entre capas indican únicamente entre nodos replicados -son los mismos- en las diferentes capas. Aunque también se pueden conectar nodos diferentes entre las distintas capas, siempre que estén mapeados correctamente (BIANCONI, 2018).

- Redes multi-corte -*Multi-slice*-. son redes multicapa en las que cada capa está formada por red de interacciones que suceden durante una ventana temporal de duración determinada. Es decir, describen una evolución temporal en la que los enlaces sólo están presentes durante un determinado tiempo. Por ello las capas se ordenan entre sí en función de su posición en una secuencia cronológica. Los enlaces entre capas sólo conectan aquellos nodos que están presentes en dos ventanas consecutivas.

Para todos estos casos las investigadoras e investigadores han realizado una serie de abstracciones a partir de sus datos analizados, con el fin de convertirlos al lenguaje de redes: nodos y arcos (o aristas). Una abstracción habitual es la de considerar a los yacimientos como los nodos, debido a que son discretos, estables y persistentes en las escalas de tiempo arqueológico, aunque, también se han considerado enterramientos o estructuras de habitación como nodos, dentro de los yacimientos. Este tipo de análisis se realiza utilizando las redes bimodales, que ofrece mayores oportunidades para incorporar múltiples tipos de nodo en una misma red. Estas redes se centran en dos tipos de actores diferentes, en lugar de sólo uno como las redes unimodales -las más habituales-. La otra cuestión importante tiene que ver con el significado que les asociamos a las aristas. En la mayoría de los casos se han asignado a los arcos valores relacionados con la cultura material, pero también se han utilizado otro tipo de conceptos, como la visibilidad entre yacimientos. Dentro de las aristas, una de las decisiones que debe tomar el analista es la de asignar un peso a sus arcos para indicar la fuerza de las relaciones entre nodos. Estas redes pueden ser presentadas para su visualización, ya que nos brinda una oportunidad para evaluar los datos. Son fáciles de elaborar y suelen resultar atractivas. A las visualizaciones se les puede añadir información geográfica, que ubican nuestros datos en un contexto arqueológico reconocible. Además, pueden añadirse elementos comparativos que permiten mostrar nuestros nodos y arcos que sobrepasen determinados valores umbral, o se pueden escalar los arcos y los nodos para proporcionar una guía visual de la potencia de nuestras redes ponderadas (COLLAR *et al.*, 2015).

También es necesario mencionar que los estudios relacionados con Humanidades están familiarizados con el hecho de que imponer categorías a los materiales y a las relaciones consideradas puede resultar una herramienta heurística muy útil, pero no va más allá, ya que el número de compartimentaciones posibles puede ser infinito y no hay necesariamente una más válida que otra. La consecuencia directa es que el ARS requiere necesariamente aplicarse sin realizar

categorizaciones. Por ello, todo análisis debería comenzar preguntando porqué se empleó un determinado aparato conceptual -acerca de tipologías, lugares, etc.-, ya que de ello dependerá la naturaleza y estructura de los resultados. Además de la crítica asociada a la semántica de las redes existen otros elementos que también se deberían tener en cuenta y que derivan de la fragmentación de la evidencia disponible. Esta es la razón por la que habitualmente las arqueólogas y arqueólogos realizan síntesis de redes en lugar de análisis de redes, ya que parten de una red «resultado» y buscan estructuras que conduzcan a esa respuesta. Encontrar una solución automatizada a este tipo de problema es complicado y los avances realizados en Matemáticas e Informática para resolver problemas de índole similar han demostrado que, aunque no existen soluciones exactas, se pueden alcanzar soluciones algorítmicas lo suficientemente solventes y estables, como para ser utilizadas en la toma de decisiones económicas críticas. Por tanto, estos algoritmos aplicados al entorno de las redes podrían permitir a los investigadores e investigadoras generar modelos predictivos a partir de datos arqueológicos y comprobar los resultados con observaciones empíricas posteriores (ISAKSEN, 2013; SINDBÆK, 2013). Finalmente, como hemos podido ver, a pesar de que los datos que manejan actualmente las arqueólogas y arqueólogos son de una gran complejidad, todas las redes son en última instancia una selección de lo que resulta relevante al analista, y en Arqueología los datos con los que se trabaja siempre son parciales. Así pues, es necesario comprobar la robustez de la red y comprobar el grado de contaminación aleatoria que pueden asumir el modelo antes de proporcionar un resultado completamente distinto.

Estos casos de aplicación están restringidos a la visualización de redes y a la exploración de la estructura estática de los datos arqueológicos. La dificultad principal descansa en el salto interpretativo que es necesario efectuar para pasar de la identificación de patrones en estructuras estáticas utilizando ARS, a la explicación final en términos de procesos sociales pasados. Sin embargo, en muchos casos las unidades de análisis no son entidades sociales, por lo que las explicaciones sociales tradicionales se vuelven problemáticas. De cualquier manera, el uso de ARS como herramienta de análisis tiene sus limitaciones. Ni el ARS, ni las técnicas de redes complejas están diseñadas para desentrañar la totalidad de la complejidad que muestran las interacciones sociales (COLLAR *et al.*, 2015), aunque contienen muchas posibilidades para proporcionar puntos de vista alternativos. Nótese que a pesar del gran potencial sintetizador y descriptivo del ARS es en sus métricas, y en la cuantificación que éstas proporcionan acerca de los procesos sociales que tratan, donde descansa su aporte de mayor interés para el estudio del pasado.

Aunque la batería de herramientas matemáticas que proporciona el ARS ha visto aumentada su popularidad entre los arqueólogos y arqueólogas en los últimos tiempos, aún no son muchas las aplicaciones realizadas en la península Ibérica y territorios insulares (BERNABEU *et al.*, 2017; CARAGLIO *et al.*, 2022; JIMÉNEZ-PUERTO, 2022). Sin embargo, se han comenzado a hacer algunos esfuerzos por dar a conocer esta herramienta al público de la esfera iberoamericana (RELLÁN, 2023). Este creciente interés por el campo es indicativo de que las aproximaciones

metodológicas existentes no son suficientes para responder a muchas cuestiones. Además, cada vez más los investigadores e investigadoras tienen acceso a grandes paquetes de datos arqueológicos, que son cada vez más fáciles de procesar debido a la incesante mejora de la capacidad de computación, así como de una mayor accesibilidad a las aplicaciones científicas. En este contexto el ARS puede resultar una de las metodologías más útiles para metabolizar grandes bases de datos, lo que en parte explica su creciente utilización en Arqueología. No obstante, la mera popularidad de un método no es suficiente para justificar su empleo. Pero entonces, ¿Cuáles son sus ventajas? Algunos trabajos señalan las ventajas de los estudios con redes y los conectan principalmente con su multidimensionalidad y su posibilidad de trabajar diversas escalas de análisis al mismo tiempo (KNAPPETT, 2011). Sin embargo, hay un argumento aún más sólido para justificar la incorporación de la ciencia de las redes en Arqueología: los arqueólogos y arqueólogas siempre se enfrentan con datos relacionales y la ciencia de las redes ofrece el paquete de técnicas necesarias para lidiar con datos relacionales (BRUGHMANS, 2013). De este modo, la ciencia de las redes concierne al estudio de la representación, gestión y análisis de datos relacionales.

El reto más difícil de afrontar para el ARS aplicado a la Arqueología se encuentra en la interpretación de los patrones extraídos de redes estáticas pretéritas, para su exégesis en términos de procesos. Frecuentemente esta interpretación depende del modo en que hayamos definido nuestras redes y métricas. Consecuentemente, los datos relacionales representados mediante redes son un reflejo de nuestras afirmaciones teóricas, acerca del papel que desempeñan estas relaciones en nuestras investigaciones. Así pues, la ciencia de las redes y el ARS no deberían ser considerados como un sustituto del proceso de investigación arqueológica tradicional, sino como una herramienta que proporciona una serie de técnicas que pueden ser útiles en diferentes fases del proceso. En última instancia, el proceso de representar datos arqueológicos en forma de redes obliga a la comunidad científica a pensar en las relaciones y sus implicaciones, proporcionando puntos de vista alternativos, que pueden proporcionar una comprensión más profunda de problemáticas conocidas, o datos que puedan ser empleados por otros marcos conceptuales.

## 7. CONCLUSIÓN

El Análisis de Redes Sociales (ARS) ha demostrado ser una herramienta inmensamente valiosa para desentrañar la compleja trama de relaciones que caracteriza tanto a las sociedades antiguas como a las contemporáneas. A lo largo de este artículo, hemos explorado la aplicabilidad del ARS en el campo de la Arqueología, resaltando cómo esta metodología no solo permite visualizar y analizar las interconexiones entre diversos elementos arqueológicos, sino que también facilita una comprensión más profunda de la estructura social y cultural de las poblaciones pasadas.

Al incorporar técnicas de ARS, la Arqueología se beneficia de un enfoque

que supera las limitaciones de las interpretaciones tradicionales, que a menudo consideran los hallazgos arqueológicos de manera aislada. En cambio, el ARS permite considerar estos hallazgos dentro del contexto de redes dinámicas y en evolución, donde cada nodo y cada enlace aporta información crucial sobre la estructura social y las dinámicas de interacción. Este enfoque es particularmente útil para abordar preguntas sobre la difusión de artefactos, ideas y prácticas culturales, ofreciendo nuevas vías para entender cómo las sociedades se influncian y transforman mutuamente a lo largo del tiempo.

Sin embargo, es fundamental abordar el ARS con una comprensión crítica de sus capacidades y limitaciones. Aunque proporciona un marco poderoso para modelar relaciones complejas, los resultados del ARS dependen en gran medida de la calidad y la naturaleza de los datos disponibles. En Arqueología, donde los datos pueden ser fragmentarios o incompletos, es crucial interpretar los resultados del ARS con cautela, complementándolos con otras formas de evidencia y análisis para obtener una visión más equilibrada y contextualizada.

Otra frontera, que se vislumbra prometedor, es la integración con técnicas computacionales avanzadas, como simulaciones y predicciones de redes neuronales artificiales. Estas herramientas brindarían una capacidad sin precedentes para experimentar *in-silico* con escenarios y condiciones imposibles de recrear en la realidad. Así podríamos ganar nuevas comprensiones sobre cómo las sociedades responden y se adaptan ante diferentes perturbaciones.

Sin duda, hacer converger la riqueza teórica con las posibilidades analíticas que brindan las nuevas tecnologías, permitirá abrir un abanico de oportunidades para interpretar los procesos de cambio experimentados por las culturas del pasado. Y en este camino, la transversalidad y el trabajo en equipo interdisciplinario serán clave, aprovechando los conocimientos expertos de distintas ramas como las matemáticas, la estadística y la modelización computacional. En conjunto, este programa de investigación posee un horizonte prometedor.

Pese a los desafíos existentes, esta convergencia teórico-metodológica se perfila como indispensable en la Arqueología futura. A medida que avanza la revolución de los datos en Arqueología, enfoques integrales para comprender la adaptabilidad de las sociedades cobran más relevancia que nunca. No obstante, el éxito de esta integración dependerá de nuestra capacidad para adaptar estas técnicas a las particularidades del registro arqueológico y para interpretar sus resultados dentro del contexto más amplio de la teoría arqueológica y la comprensión histórica. Con creatividad y rigor científico, estas semillas teóricas podrían florecer en un conjunto de técnicas indispensables para el arqueólogo del futuro.

## 8. FINANCIACIÓN

Este estudio ha sido realizado en el transcurso del proyecto de investigación Prometeo 2021/007: Neonets. A social network approach to understanding evolutive dynamics of neolithic societies (c. 5600-2000 cal BC), financiado por la

Conselleria de Innovación, Universidades, Ciencia y Sociedad de la Generalitat Valenciana.

## 9. REFERENCIAS

- ALVAREZ-SOCORRO, A. J., HERRERA-ALMARZA, G. C., and GONZÁLEZ-DÍAZ, L.A. (2015): Eigencentality based on dissimilarity measures reveals central nodes in complex networks, *Scientific Reports*, 5(1), 17095. <https://doi.org/10.1038/srep17095>
- BARRETT, J. (2012): Agency: A revisionist account, 146-166. En HODDER, I. (ed.) *Archaeological theory today*, Cambridge Univ. Press. Cambridge.
- BERNABEU, J., LOZANO, S., and PARDO-GORDÓ, S. (2017): Iberian Neolithic Networks: The Rise and Fall of the Cardial World, *Frontiers in Digital Humanities*, 4. <https://doi.org/10.3389/fdigh.2017.00007>
- BERNABEU, J., MORENO, A., and BARTON, C. M. (2012): Complex Systems, Social Networks, and the Evolution of Social Complexity in the East of Spain from the Neolithic to Pre-Roman Times, En *The Prehistory of Iberia: Debating Early Social Stratification and the State* (pp. 53-73). Routledge, New York.
- BIANCONI, G. (2018): *Multilayer Networks* (Vol. 1). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198753919.001.0001>
- BINFORD, L. R. (1981): Behavioral archaeology and the « Pompeii premise. *Journal of anthropological research*, 37(3), 195-208.
- BLONDEL, V. D., GUILLAUME, J.-L., LAMBIOTTE, R., and LEFEBVRE, E. (2008): Fast unfolding of communities in large networks, *Journal of statistical mechanics: theory and experiment*, 2008(10), P10008. <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2008/10/P10008>
- BORGATTI, S. P., and EVERETT, M. G. (2006): A Graph-theoretic perspective on centrality, *Social Networks*, 28(4), 466-484. <https://doi.org/10.1016/j.socnet.2005.11.005>
- BRUGHMANS, T. (2013): Thinking Through Networks: A Review of Formal Network Methods in Archaeology, *Journal of Archaeological Method and Theory*, 20(4), 623-662. <https://doi.org/10.1007/s10816-012-9133-8>
- BRUGHMANS, T., and PEEPLES, M. A. (2023): *Network Science in Archaeology*. Cambridge University Press, Cambridge.
- BRUGHMANS, T., and POBLOME, J. (2012): Pots in space: Understanding Roman pottery distribution from confronting exploratory and geographical network analyses, En EL BARKER, E. *et al.*, (ed) *New Worlds out of Old Texts: Developing Techniques for the Spatial Analysis of Ancient Narratives*, Oxford University Press, Oxford.
- CARAGLIO, A., RÍOS, P., and LIESAU, C. (2022): A Bipartite Network Analysis of Bell Beaker Decoration Diversity in Camino De Las Yeseras (Madrid, Spain), In ABEGG, C. *et al.* (eds.), *The Bell Beaker Culture in All Its Forms: Proceedings of the 22nd Meeting of 'Archéologie et Gobelets' 2021 (Geneva, Switzerland)*, Archaeopress Publishing Ltd.

- CEGIELSKI, W. H. (2020): *Toward a Theory of Social Stability: Investigating Relationships Among the Valencian Bronze Age Peoples of Mediterranean Iberia* [PhD Thesis]. Arizona State University.
- CLAUSET, A., SHALIZI, C. R., and NEWMAN, M. E. (2009): Power-law distributions in empirical data, *SIAM review*, 51(4), 661-703. <https://doi.org/10.1137/070710111>
- COLLAR, A., COWARD, F., BRUGHMANS, T., and MILLS, B. J. (2015): Networks in Archaeology: Phenomena, Abstraction, Representation, *Journal of Archaeological Method and Theory*, 22(1), 1-32. <https://doi.org/10.1007/s10816-014-9235-6>
- DAEMS, D. (2021): *Social complexity and complex systems in archaeology*. Routledge. New York.
- DOBRES, M.-A., and ROBB, J. (2000): *Agency in archaeology*. Psychology Press.
- ERDÖS, P., and RENYI, A. (1959): On Random Graphs I, *Publicationes Mathematicae*, 6, 290-297.
- FREEMAN, L. C. (1978): «Centrality in social networks conceptual clarification», *Social Networks*, 1(3), 215-239. [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](https://doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7)
- FREEMAN, L. C., BORGATTI, S. P., and WHITE, D. R. (1991): Centrality in valued graphs: A measure of betweenness based on network flow, *Social Networks*, 13(2), 141-154. [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(91\)90017-N](https://doi.org/10.1016/0378-8733(91)90017-N)
- GRAHAM, S. (2006): *Ex figlinis: The network dynamics of the Tiber Valley brick industry in the hinterland of Rome*. BAR international, Oxford.
- GRAHAM, S., and RUFFINI, G. (2007): Network Analysis and Greco-Roman Prosopography, En *Prosopography approaches and applications: A handbook* (Keats-Rohan, K., pp. 325-336): Unit for Prosopographical Research. <http://doi.org/10.17613/M62S2F>
- GUPTA, N., SINGH, A., and CHERIFI, H. (2016): Centrality measures for networks with community structure, *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 452, 46-59. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.01.066>
- HARARY, F., NORMAN, R. Z., and CARTWRIGHT, D. (1965): *Structural models*. Wiley, New York.
- HODDER, I. (2012): *Entangled: An archaeology of the relationships between humans and things*. Wiley Blackwell, Chichester.
- HODDER, I., and MOL, A. (2016): Network analysis and entanglement, *Journal of archaeological method and theory*, 23, 1066-1094. <https://doi.org/10.1007/s10816-015-9259-6>
- IRWIN-WILLIAMS, C. (1977): A network model for the analysis of prehistoric trade, *Exchange systems in Prehistory*, 9(3), 141-151. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-227650-7.50014-6>
- ISAKSEN, L. (2013): "O What A Tangled Web We Weave"-Towards a Practice That Does Not Deceive, In KNAPPETT, C. (ed.) *Network Analysis in Archaeology: New Approaches to Regional Interaction*. Oxford University Press, Oxford. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199697090.003.0003>
- JAUHAINEN, H., and ALSTOLA, T. (2022): A Social Network of the Prosopography of the Neo-Assyrian Empire, *Journal of Open Humanities Data*, 8, 8. <https://doi.org/10.1093/soa/obab001>



- org/10.5334/johd.74
- JIMÉNEZ-PUERTO, J. (2022): *Conectando con el pasado. Redes sociales en la Prehistoria reciente*. (Proquest). Universidad de Valencia. <https://www.proquest.com/docview/2742640164>
- JIMÉNEZ-PUERTO, J. (2024): Connecting arrowheads: Differential transmission of information at the dawn of the Bronze Age, *Journal of Lithic Studies*, 10(2), 23. <https://doi.org/10.2218/jls.7256>
- JIMÉNEZ-PUERTO, J., and BERNABEU-AUBÁN, J. (2023): Linking up Bell Beakers in the Iberian Peninsula, *Journal of Archaeological Method and Theory, A Complex Past: Theory and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s10816-023-09625-6>
- KNAPPETT, C. (2011): *An archaeology of interaction: Network perspectives on material culture and society*. Oxford University Press, Oxford.
- KOHLER, T. A., CRABTREE, S. A., BOCINSKY, R. K., and HOOPER, P. L. (2017): + Sociopolitical evolution in midrange societies: The pre-Hispanic Pueblo case, *Principles of Complexity: An Introduction to Complex Adaptive Systems and Human Society*.
- LATOUR, B. (2007): *Reassembling the social: An introduction to actor-network-theory*. Oxford Univ. Press, Norfolk.
- MILGRAM, S. (1967): An Experimental Study of the Small World Problem, *Psychology Today*, 2, 60-67. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-442450-0.50018-3>
- MIZOGUCHI, K. (2009): Nodes and edges: A network approach to hierarchisation and state formation in Japan, *Journal of Anthropological Archaeology*, 28(1), 14-26. <https://doi.org/10.1016/j.jaa.2008.12.001>
- MONFORTE-BARBERAN, A., CUEVAS, A., and PARDO-GORDÓ, S. (2023): Adornos personales, contextos funerarios y redes sociales. El horizonte de los Sepulcros de Fosa como caso de estudio, *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 33, 71-100. <https://doi.org/10.30827/cpag.v33i0.27617>
- NEWMAN, M. E. J. (2003): The Structure and Function of Complex Networks, *SIAM Review*, 45(2), 167-256. <https://doi.org/10.1137/S003614450342480>
- RELLÁN (ED.), C. R. (2023): Un pasado interconectado: Nuevas aproximaciones a la circulación de personas, objetos y materias primas a lo largo de la historia. Presentación, *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 33, 1-7 pp. <https://doi.org/10.30827/CPAG.V33I0.29477>
- REYNOSO, C. (2011): *Redes sociales y complejidad: Modelos interdisciplinarios en la gestión sostenible de la sociedad y la cultura*. Sb Buenos Aires. <http://www.academia.edu/download/32184999/Redes-y-complejidad2.pdf>
- RIBEIRO, A. (2016): Against object agency. A counterreaction to Sørensen's 'Hammers and nails', *Archaeological dialogues*, 23(2), 229-235. <https://doi.org/10.1017/S1380203816000246>
- RIVERS, R. (2016): Can archaeological models always fulfill our prejudices, En *The connected past: Challenges to network studies in archaeology and history* (pp. 123-147). <https://doi.org/10.1093/oso/9780198748519.003.0014>
- SINDBÆK, S. M. (2013): Broken Links and Black Boxes: Material Affiliations and Contextual Network Synthesis in the Viking World, En C. Knappett (Ed.),

- Network Analysis in Archaeology* (pp. 71-94). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199697090.003.0004>
- SOLÉ, R. (2008): *Redes complejas: Del genoma a internet*. Tusquets Editores.
- SØRENSEN, T. F. (2018): Agency (again). A response to Lindstrøm and Ribeiro, *Archaeological dialogues*, 25(1), 95-101. <https://doi.org/10.1017/S1380203818000120>
- TERRELL, J. E. (2013): Social Network Analysis and the Practice of History, En C. Knappett (Ed.), *Network Analysis in Archaeology* (pp. 16-41). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199697090.003.0002>
- TRAAG, V. A., WALTMAN, L., and VAN ECK, N. J. (2019): «From Louvain to Leiden: Guaranteeing well-connected communities», *Scientific reports*, 9(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41695-z>
- VAN OYEN, A. (2015): Actor-Network Theory's take on archaeological types: Becoming, material agency and historical explanation, *Cambridge archaeological journal*, 25(1), 63-78. <https://doi.org/10.1017/S0959774314000705>
- WASSERMAN, S. and FAUST, K. (1994): *Social network analysis: Methods and applications*. Cambridge University Press, Cambridge.
- WATTS, D. J. (2003): *Six degrees: The science of a connected age* (1st ed). Norton, New York.
- WATTS, D. J., and STROGATZ, S. H. (1998): Collective dynamics of «small-world» networks, *Nature*, 393, 440-442. <https://doi.org/10.1038/30918>
- WELSCH, R., and TERRELL, J. (1998): Material culture, social fields, and social boundaries on the Sepik Coast of New Guinea, *The Archaeology of Social Boundaries*, 50-77.