

# El Análisis de Redes Sociales como método de modelado arqueológico

*Social Network Analysis as a method of archaeological modeling*

**Andreu Monforte-Barberán**  Grup de Recerca de la Mediterrània i del Pròxim Orient, Departament de Prehistòria, Universitat Autònoma de Barcelona, [andreumonbar@gmail.com](mailto:andreumonbar@gmail.com)

**Resumen:** La creciente implementación del Análisis de Redes Sociales (ARS) en el campo de la arqueología, contrasta con la limitada disponibilidad de literatura en español sobre el tema. Este artículo tiene como objetivo ofrecer una guía teórico-metodológica para la comunidad arqueológica hispanohablante interesada en utilizar el ARS en sus investigaciones. Concretamente, se presentan las bases conceptuales que lo fundamentan, los métodos y técnicas necesarios para su implementación y las herramientas específicas para el análisis. Para ilustrar la aplicación práctica del marco propuesto, se han seleccionado las dinámicas productivas de los sepulcros funerarios neolíticos en el noreste de la península ibérica como caso de estudio, dado que constituyen un conjunto empírico ampliamente documentado.

**Palabras clave:** teoría y metodología arqueológica; Análisis de Redes Sociales; Neolítico; horizonte de Sepulcros de Fosa; NE península ibérica.

**Abstract:** The growing implementation of Social Network Analysis (SNA) in the field of archaeology contrasts with the limited availability of literature on the subject in Spanish. This article aims to provide a theoretical and methodological guide for the Spanish-speaking archaeological community interested in using SNA in their research. Specifically, it presents the conceptual foundations that underpin SNA, the methods and techniques necessary for its implementation, and the specific tools for analysis. To illustrate the practical application of the proposed framework, the productive dynamics of Neolithic funeral burials in the northeast of the Iberian Peninsula were chosen as a case study, as they represent a widely documented empirical dataset.

**Keywords:** archaeological theory and methodology; Social Network Analysis; Neolithic; Sepulcros de Fosa horizon; NE Iberia.

**Cómo citar / Citation:** Monforte-Barberán, A. (2025). “El Análisis de Redes Sociales como método de modelado arqueológico”. *Trabajos de Prehistoria*, 82 (1): 1020. DOI: <https://doi.org/10.3989/tp.2025.1020>.

Recibido / Submitted: 18-09-2024

Aceptado / Accepted: 18-02-2025

Publicado online / Published online: 21-08-2025

## 1. INTRODUCCIÓN

El uso de los métodos basados en el Análisis de Redes Sociales (ARS) está cada vez más presente en la literatura arqueológica. Los trabajos de Brughmans (2010, 2013), Brandes *et al.* (2013), Collar *et al.* (2015), y más recientemente los de Brughmans y Peebles (2023) y Brughmans *et al.* (2023), han definido, desde hace una década, la integración epistemológica y metodológica de las Ciencias de Redes con la Arqueología. En este sentido, exceptuando el monográfico “Un pasado interconectado: nuevas aproximaciones a la circulación de personas, objetos y materias primas a lo largo de la historia” (Rodríguez-Rellán, 2023), no existe ningún otro marco de referencia en español que reúna obras de investigadores de talla internacional en materia de redes y arqueología. Si bien sí que se han llevado a cabo lecturas de algunas tesis doctorales en esta materia (p. ej., Jiménez-Puerto, 2022a; Monforte-Barberán, 2023; Palacios, 2023) y hay implementaciones del ARS enmarcadas en el estudio de las sociedades prehistóricas de la península ibérica (p. ej., Cucart-Mora *et al.*, 2022; Romano *et al.*, 2022; Molina-Balaguer *et al.*, 2023; Moreno-Navarro *et al.*, 2023; Barrera-Cruz *et al.*, 2024; Jiménez-Puerto, 2024a), tan solo el artículo de Brughmans y Laguna-Palma (2023) aborda cuestiones epistemológicas en lengua española sobre la naturaleza del conocimiento en la investigación de redes en arqueología, cómo se adquiere este conocimiento, por qué se considera válido y qué bases filosóficas lo justifican y validan. Con ello, se plantean qué es el ARS y cómo se puede definir, qué tipos de fenómenos del pasado se pueden estudiar, por qué debería interesarnos y qué puede hacer por nosotros que no pueda hacer ningún otro enfoque.

La ausencia de un marco de referencia más amplio sobre el ARS en español ha impulsado la elaboración de este artículo, con el objetivo de contribuir a la difusión de este método en el ámbito arqueológico hispanohablante. El propósito de este trabajo es profundizar en un aspecto que Brughmans y Laguna-Palma (2023) tratan de manera tangencial: el ‘cómo’. Es decir, se abordará el desarrollo de las bases conceptuales y teóricas que sustentan la aplicación del ARS en arqueología, así como los métodos y técnicas necesarios para llevar a cabo el proceso de modelado y los procedimientos y herramientas específicos del análisis en sí. Una vez expuestos estos elementos, se evaluarán mediante su aplicación en el estudio de las dinámicas productivas de los sepulcros funerarios neolíticos del noreste de la península ibérica. De esta manera, se tratará de proporcionar el primer marco teórico-metodológico en español para la aplicación del ARS en arqueología.

## 2. EL PROCESO DE MODELADO DE RED EN ARQUEOLOGÍA. EL ARS COMO MÉTODO

El ARS y la modelización son, en la actualidad, dos conceptos indisolubles en la investigación arqueológica. Aunque existen múltiples formas de modelizar el pasado, el ARS requiere la modelización para ser llevado a cabo. Pero ¿por qué esta conexión es tan crucial?

En términos generales, un modelo es, esencialmente, una proyección de la realidad que permite ser modificada, observada y medida sin afectar al proceso real que representa, dando información sobre la causa y el efecto de dicha realidad (Barton, 2014), es decir, un método de análisis. En arqueología, un modelo se define como una abstracción de la realidad material que permite establecer un proceso de deducción lógica sobre el funcionamiento de las sociedades del pasado o, al menos, sobre alguna parte de ellas (Angourakis, 2023). Como entidades conceptuales, los modelos no buscan ser una réplica exacta de la realidad, sino ofrecer una representación simplificada que permita el análisis y la interpretación de datos históricos.

Para llevar a cabo estas abstracciones, se recurre al proceso de modelización, entendido como una estrategia para abstraer de los fenómenos sociales la base de comparación. A través de este proceso, se establecen relaciones entre los fenómenos mostrando que no son simultáneamente genéricos ni específicos y ni puramente cílicos ni meramente analógicos (González, 2004). En esencia, la construcción del modelo implica la creación de una representación de la estructura y la función del sistema (Epstein, 2008).

El proceso de modelado por ARS tiene su origen, tal y como sugiere Collar *et al.* (2015), en la Ciencia de Redes. Esta es definida por Brughmans (2010, p. 277) como un medio para detectar e interpretar patrones de relaciones entre sujetos de interés de investigación y se basa en la premisa de que una serie de fenómenos observados arqueológicamente pueden abstraerse como un conjunto de asociaciones entre elementos que pueden conceptualizarse como vínculos que forman modelos de redes (Brandes *et al.*, 2013).

En este sentido, amparado por la Ciencia de Redes, el ARS trata de capturar los fenómenos del pasado, resumirlos en conceptos y representarlos en datos de red, facilitando el desarrollo del proceso de inferencia histórica y proporcionando conocimientos que puedan ser extrapolados a diversas situaciones. De esta manera, el estudio del

pasado se formaliza, dando lugar a un proceso de deducción lógica que permite la obtención de datos del pasado de forma rigurosa. Este proceso se puede conceptualizar en tres pasos (Fig. 1).

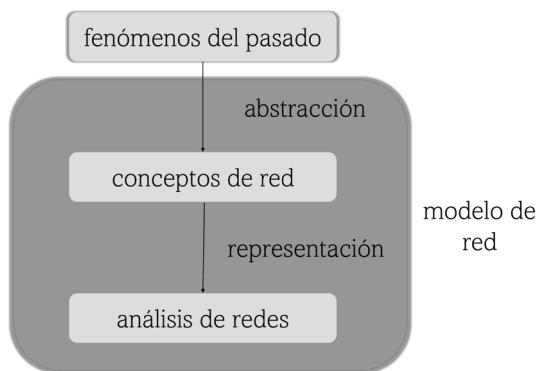


Fig. 1. Esquema del proceso de modelado de red. Modificado a partir de Brandes *et al.* (2013).

En primer lugar, los fenómenos del pasado son abstraídos a través de un proceso de objetivación. Este proceso consiste en transformar dichos fenómenos en objetos de estudio concretos y definidos mediante su abstracción y análisis sistemático. Esto implica la selección consciente de elementos de la realidad material, atribuyéndoles un significado teórico que permita interpretarlos dentro de un marco analítico. Estos objetos se convierten en herramientas esenciales para formular preguntas, elaborar hipótesis y construir explicaciones coherentes sobre los fenómenos del pasado.

En segundo lugar, los fenómenos, ahora convertidos en objetos de estudio, son conceptualizados en datos de red, es decir, en nodos que pueden ser relacionados con aristas o enlaces. En este sentido, la red, concepto elemental del ARS, se concibe como un conjunto de objetos (nodos) que se encuentran conectados entre ellos mediante enlaces (aristas) (Easley y Kleinberg, 2011) y que se encarga de plasmar entidades en interacción que, colectivamente, forman una estructura compleja (Brughmans, 2013). Esta definición es muy flexible, ya que, según el objeto de estudio y los supuestos teóricos, se pueden usar muchas formas diferentes de relaciones o conexiones para vincular entidades o sujetos sociales. Según Knappett (2011), las relaciones entre las entidades tienen un factor inherentemente espacial. Con la flexibilidad de ser tanto sociales como físicas, son un método sólido para articular escalas y pueden incorporar tanto personas como objetos, así como una dimensión temporal. Brughmans (2010) las define como un medio para detectar e interpretar patrones de relaciones entre sujetos de interés de investigación. Por otro lado, autoras como Kadushin (2013) definen que una red es un conjunto de relaciones compuestas por una serie de objetos (en términos matemáticos, nodos) plasmados en un mapa donde se describen las relaciones entre ellos. Igualmente, Faust (2002) sostiene que una red social consiste básicamente en una población de actores o entidades en las que por lo menos hay una relación commensurable para cada par de actores. Son pues las relaciones entre las entidades las que constituyen una red y las que modifican su estructura, es decir, los objetos se analizan en términos de su inserción dentro de conjuntos de relaciones y, por lo tanto, nunca son autónomos, sino que siempre dependen del comportamiento de todas las demás entidades y sus conexiones (Borgatti *et al.*, 2009; Marin y Wellman, 2011). Es por ello por lo que los supuestos teóricos mediante los cuales se lleva a cabo la abstracción son la base fundamental que sustenta la representación de red.

Finalmente, las relaciones entre objetos son representadas mediante redes que pueden ser analizadas, medidas y comparadas. Aunque la visualización de estos puntos y líneas no es imprescindible, es un componente crucial de muchos métodos de redes formales, ya que facilita una comprensión intuitiva de los conceptos de red (Freeman, 2005; De Nooy *et al.*, 2005). Para identificar, examinar y visualizar estos patrones de relaciones, estos modelos se fundamentan en una rama de las matemáticas llamada Teoría de Grafos.

La Teoría de Grafos ofrece un marco matemático y descriptivo que, aplicado al análisis social, como señalan Harary *et al.* (1965), proporciona un conjunto de conceptos que permiten describir las propiedades de la estructura social. Además, ofrece herramientas matemáticas para cuantificar y medir estas propiedades, y nos permite formular y probar teoremas sobre la estructura social representada mediante gráficos (Wasserman y Faust, 1994). Esta teoría concibe la red como un grafo ( $G$ ) donde  $G = (V, E)$  es una pareja ordenada en la que  $V$  es un conjunto no vacío de vértices y  $E$  es un conjunto de aristas compuestas por pares no ordenados de vértices, tales como  $\{x, y\} \in E$ , donde  $x$  y  $y$  son adyacentes y se representan por una línea no orientada que enlaza dichos vértices (Godsil y Royle, 2001). Si

bien el grafo es el encargado de representar la estructura de las relaciones, una red consta de un grafo e información adicional sobre sus vértices que también deben ser tenidas en cuenta.

Son estas relaciones entre entidades de un sistema las que permiten analizar la estructura social. Para ello el ARS combina la visualización de los datos mediante los supuestos de la Teoría de Grafos y el análisis estadístico inferencial y probabilístico propio de la Ciencia de Redes.

La determinación de la estructura social, según Burt (1987), se sustenta en una serie de principios compartidos para cualquier ARS: la *homofilia*, *prominencia*, rango de dependencia, competición y cohesión. Así pues, la *homofilia* considera que los nodos semejantes tienen patrones de relación parecidos, mientras que la *prominencia* plantea que los nodos más ‘importantes’ se dan debido a la cantidad y calidad de sus relaciones. Por otro lado, la comunicación entre tipos de nodos se da mediante relaciones de dependencia, estableciendo así diferentes rangos. Esta comunicación, desde una perspectiva dinámica, sumada a los espacios vacíos en la estructura social, puede representar oportunidades de ascenso y toma de ventaja en la competencia entre nodos, o bien oportunidades de cohesión cuando los nodos comparten mayor cantidad de características y, por ello, se encuentren enlazados mediante relaciones sociales de interacción.

Tomando como base estos supuestos, Wasserman y Faust (1994, p. 4) los amplían considerando que: los actores y sus acciones son vistos como unidades autónomas interdependientes más que independientes; los enlaces entre actores son canales para la transferencia o ‘flujos’ de recursos (ya sean materiales o no materiales); los modelos de red que se centran en los individuos ven el entorno estructural de la red como proveedor de oportunidades o limitaciones para la acción individual; y los modelos de redes conceptualizan la estructura (social, económica o política), como pautas de relaciones duraderas o permanentes entre actores.

Más recientemente se ha señalado la importancia del principio de *propincuidad*, propuesto por Kadushin (2013), el cual consiste en el hecho de estar al mismo tiempo en el mismo lugar.

### **3. LA CONSTRUCCIÓN DE REDES ARQUEOLÓGICAS**

La clave para postular la construcción de un modelo de red social a partir de una situación real se basa en la conceptualización relacional de una situación social (Faust, 2002, p. 2), es decir, en establecer qué tipo de lazos existen entre las entidades sociales a estudiar. Para ello, se sigue el proceso de abstracción de fenómenos pasados en una red que posibilita el estudio del pasado.

#### **3.1. Abstracción de los fenómenos del pasado en datos de red**

Puesto que la materialidad arqueológica puede formalizarse mediante la creación de una base de datos y dado que la información relacional es la característica principal de cualquier modelo de red, el proceso de abstracción de los fenómenos debe ser construido mediante la creación de matrices. Una matriz es un conjunto p-dimensional de números (elementos de la matriz) orquestados en filas (o renglones) y columnas, donde una fila es cada una de las líneas horizontales de la matriz y una columna es cada una de las líneas verticales. A una matriz con  $m$  filas y  $n$  columnas se le denomina “matriz  $m \times n$ ” donde  $m, n \in \mathbb{N} - \{0\}$ . El conjunto de las matrices de tamaño  $m \times n$  se representa como  $M_{m \times n}(K)$ , donde  $K$  es el cuerpo al cual pertenecen los elementos de la matriz.

Dichos elementos se pueden asociar a un conjunto de actores y atributos. Dependiendo de la organización que toman dentro de la matriz podemos diferenciar dos tipos de matrices: las  $m$  matrices de Modo 1 o matriz de adyacencia donde las filas y las columnas representan la relación entre actores de modo, donde un 1 en la fila  $i$  columna  $j$  indica que el actor  $i$  está relacionado con el actor  $j$ . La ausencia de esta relación se indica mediante NA o 0; y las matrices de Modo 2 donde un 1 en la fila  $i$  columna  $j$  indica que el actor  $i$  asistió al evento  $j$  (Everett y Borgatti, 2005). Más allá de esta perspectiva cualitativa, la organización de los datos en este tipo de matrices nos permite cuantificar las veces en las que un actor ha participado en un evento o, dicho de otra forma, la cantidad de atributos que tiene cada entidad. Cuanto mayor sea dicha cantidad, mayor será la relación entre el actor y el evento, es decir, mayor será el peso del enlace entre ambos.

#### **3.2. Conceptualización de los datos de red**

Una vez los datos arqueológicos han sido formalizados en matrices, mediante la aplicación práctica de los supuestos teóricos con los que se ha llevado a cabo la abstracción, se fundamenta el sustento de la representación de red, es decir, se definen qué elementos de la tabla deben de relacionarse entre ellos y de qué forma.

Esto dará lugar a dos grandes tipologías de red diferenciadas según la asociación de los nodos: las redes unimodales o de Modo 1 y las redes bimodales o de Modo 2. Concretamente, la red unimodal se define como una red donde tan solo se tiene en cuenta un único conjunto de nodos o actores. Esta tipología de red es la más utilizada en la literatura arqueológica (p. ej. Mills *et al.*, 2013, 2015). Por otro lado, las redes bimodales o de afiliación, hasta ahora menos presentes en la investigación arqueológica, son aquellas formadas por dos tipos de nodos diferentes (Borgatti y Everett, 1997; Prell, 2012; Borgatti *et al.*, 2013; Caraglio *et al.*, 2022). Estos nodos, según Everett y Borgatti (2005), se definen como entidades diferenciadas según su relación (actores y eventos), dando lugar al desarrollado específico de un conjunto de métricas que contemplan dicha diferencia.

Independientemente del tipo de red, los enfoques de modelado permiten probar hipótesis para las intercorrelaciones entre elementos individuales y estructuras generales en redes (Freeman, 2004; Brughmans, 2013; Brughmans y Peeples, 2018). Estos enfoques dependen del nodo, enlace y objeto de estudio.

Los nodos pueden representar individuos humanos (Moreno, 1960; Ruffini, 2008), objetos o conjuntos de objetos arqueológicos (Buchanan *et al.*, 2019; Caraglio, 2020; Cucart-Mora *et al.*, 2022) donde destacan los análisis de comunidades mediante el estudio de los objetos localizados *intra site* (Mazzucato, 2019) y los análisis intracomunitarios macro (Munson y Macri, 2009; Scholnick *et al.*, 2013), yacimientos arqueológicos (Knappett *et al.*, 2008), los cuales suelen ir acompañados de la aplicación de técnicas SIG (Mills *et al.*, 2013; Brughmans *et al.*, 2014) posibilitando el estudio de transporte (Isaksen, 2008), difusión de materiales (Sindbæk, 2007) e interacciones regionales (Knappett, 2013) o similitudes y diferencias de las prácticas funerarias (Sosna *et al.*, 2013).

La relación entre los nodos es posiblemente uno de los elementos más importantes a la hora de construir las redes. Mientras que en las redes unimodales los actores se relacionan entre ellos directamente mediante enlaces no-pesados (presencia/ausencia en la relación) o pesados (existe una variable cuantitativa que define la calidad del enlace) y mediante enlaces no dirigidos (no importa la dirección del enlace) o dirigidos (el enlace no es bidireccional), las relaciones entre los actores de una red bimodal son más complejas. Según Faust (2002, p. 8), las relaciones funcionan como medio de flujos diversos entre actores, como vínculo entre colecciones de actores y como indicadores concretos de patrones de relaciones en que los actores están inmersos. Algunos ejemplos de estos son las relaciones de ‘amistad’ (Carslon, 1965), de *hyperlinks* (Albert *et al.*, 1999), co-autoría (Newman, 2001), caminos (Isaksen, 2008), coocurrencia de objetos en los yacimientos (Brughmans, 2010; Brughmans y Poblome, 2012) y afiliación (Watts *et al.*, 2002; Newman y Park, 2003).

Finalmente, en el objeto de estudio arqueológico también acontece un elemento imprescindible a la hora de conceptualizar la red. Algunos ejemplos son el estudio de la difusión cultural (Östborn y Gerding, 2015; Jiménez-Puerto, 2024b), los movimientos de migración y transporte (Mills *et al.*, 2013, 2015), la transformación social (Cegielski, 2020; Cucart-Mora *et al.*, 2022), el intercambio de materiales e ideas (Gjesfjeld y Phillips, 2013; Crabtree, 2015; Östborn y Gerding, 2015), las ratios de adopción y difusión de una innovación (Kandler y Caccioli, 2016; Bernabeu *et al.*, 2017), la emergencia de complejidad (Swantek, 2017) y, más novedosas, la aplicación del aprendizaje automático (*machine learning*) a través de redes bayesianas (Palacios *et al.*, 2022; Palacios, 2023) y la integración del ARS con el Modelo de los Ciclos Adaptativos (MCA) (Jiménez-Puerto y Bernabeu-Aubán, 2023; Jiménez-Puerto, 2024b).

### 3.3. Representación de los conceptos de red: plataformas de modelado

Los grafos que se utilizan como modelos de red desempeñan la función de servir como modelos que representan la red, mostrar sus propiedades estructurales y aplicar conceptos y teoremas de la Teoría de Grafos para formalizar estas propiedades (Faust, 2002, p. 6).

Así pues, una vez definido qué representan los nodos y sus relaciones, la red puede ser visualizada mediante diferentes plataformas de modelado (p. ej., Visone, Pajek, UCINET, Gephi o el paquete de R igraph). En ellas, mediante la aplicación de pruebas estadísticas y medidas de red se puede obtener toda la información necesaria para entender e interpretar la red.

En estas plataformas, tal y como recoge Collar *et al.* (2015), las visualizaciones de nodos y enlaces también se pueden adaptar para demostrar las propiedades de los individuos y las propiedades de las interconexiones dentro de la red; el ancho y/o el color de los bordes se pueden escalar para proporcionar una guía visual de la fuerza de las redes ponderadas; el tamaño, la forma y el color de los nodos se pueden ajustar para reflejar una variedad de sus atributos; finalmente, atributos primarios como la naturaleza de la entidad representada por el nodo y atributos secundarios tales como la centralidad o el grado del nodo, e incluso interpretaciones como la naturaleza del sistema de intercambio del que se infiere que forma parte cada nodo, pueden transmitirse visualmente a través de estos.

### 3.4. El análisis de la red: medidas globales y de centralidad

Las propiedades de la red, una vez representada, pueden ser medidas desde dos niveles de análisis: el nivel de red (también conocido como “medidas globales”) o a nivel de nodos (también conocido como “medidas de centralidad”). Si el interés recae en la posición de los nodos dentro de la red, se medirá a nivel de nodo; si se busca comprender la estructura del sistema como un todo, se utilizarán las medidas a nivel de red.

Siguiendo las definiciones recogidas por Collar *et al.* (2015), las medidas globales más utilizadas son las siguientes:

- Coeficiente de agregación: se define como el número de triadas cerradas sobre el número total de triadas de una red. El coeficiente de agrupamiento representa la probabilidad promedio de que dos nodos conectados a un tercer nodo estén conectados, y se usa comúnmente para este propósito desde la publicación del modelo de red de “mundo pequeño” (Watts y Strogatz, 1998). Esta medida está estrechamente relacionada con el concepto de transitividad.
- Densidad: definida como la fracción del número de aristas que están presentes en la cantidad máxima posible de aristas en la red.
- Diámetro: es la máxima distancia entre dos nodos de la red.
- Distancia: número de aristas en un camino. Se engloba la distancia geodésica, entendida como la ruta entre un par de nodos con la longitud de ruta más corta.
- Grado: número de aristas incidentes en un nodo. El grado medio de una red es la suma de los grados de todos los nodos de la red dividida por el número de nodos. En una red dirigida, el grado de entrada de un nodo se refiere al número de bordes incidentes entrantes de un nodo, así como el grado de salida de un nodo se refiere al número de bordes incidentes salientes de un nodo.

Se ha considerado oportuno añadir a este conjunto de medidas el análisis de modularidad, encargado de detectar y caracterizar comunidades en la estructura de redes. Siguiendo a Newman (2006) se puede definir como una medida de detección de comunidades o grupos de nodos dentro de una red, es decir, la apariencia de grupos de nodos densamente conectados con conexiones más escasas con los otros grupos.

Sobre esta medida se aplica la diseñada por Jiménez-Puerto (2022a), que trata de cuantificar la facilidad con la que fluye la información y, por tanto, la homogeneidad cultural, partiendo de la premisa de que la presencia de fases en las que exista mucha fragmentación en grupos debería ser *a priori* indicativa de potenciales períodos de fragmentación. Esta medida, llamada ratio de homogeneidad, permite cuantificar la homogeneidad cultural.

Finalmente, el Ratio de Reemplazo de Nodos, definido por Bernabeu *et al.* (2017) y codificado por Jiménez-Puerto (2021), debe ser considerado para medir, en análisis diacrónicos, la cantidad de nodos que aparecen o desaparecen de una ventana de la red a la siguiente, es decir, permite saber si el sistema reduce o amplía su tamaño o si los actores han sido reemplazados parcial o totalmente. La desaparición de nodos clave en la red puede causar una disrupción en la forma en que se transmite la información, por lo que esta métrica es muy útil a la hora de caracterizar su evolución.

La amplia variedad de medidas de centralidad fue clasificada por Freeman (1979) mediante la formulación de tres categorías básicas: grado, cercanía e intermediación. En este artículo presentaba medidas canónicas para cada categoría. Como resultado, estas tres medidas han llegado a dominar el uso empírico, junto con la medida basada en vectores propios propuesta por Bonacich (1972). La formulación matemática de estas medidas puede ser consultada en Everett y Borgatti (2005) para el grado, cercanía, intermediación en redes unimodales y bimodales; Brandes (2001) y Freeman (1977) para la intermediación en redes unimodales; y Bonacich (1972) y Newman (2010) para la medida basada en vectores propios.

Todas ellas son definidas por Collar *et al.* (2015) como el cálculo de la posición del nodo dentro de la red, representando una clasificación de nodos. Son utilizadas para identificar los nodos más importantes, dependiendo de las diferentes definiciones de importancia o prominencia implementadas en la medida de red utilizada. Concretamente:

- Distribución de grado: centralidad de un nodo basado en el número de aristas incidentes a este nodo, es decir, un nodo es importante o prominente si tiene enlaces con una gran cantidad de otros nodos. Sabidussi (1966) la define como el número de otros enlaces dividido por la suma de todas las distancias entre el enlace y todos los demás.
- Cercanía: inverso de la suma de las geodésicas de ese nodo a todos los demás nodos dividido por el número de nodos en la red. Esta medida da una indicación de la cercanía de este nodo de todos los demás nodos en la

red, representada como el número de pasos en la red que son necesarios de promedio para llegar a otro nodo. Los nodos con un puntaje alto pueden ser considerados importantes, ya que pueden compartir y obtener recursos en menos pasos que otros nodos.

- Centralidad de intermediación: fracción del número de geodésicas que pasan a través del nodo sobre el número de geodésicas entre todos los pares de nodos en la red. Los nodos con una alta centralidad de intermediación a menudo se consideran intermediarios importantes para controlar el flujo de recursos entre otros nodos, porque están ubicados en caminos entre muchos otros pares de nodos. Los nodos que son incidentes en el único borde que conecta dos subconjuntos de nodos en la red están en posición de negociar la relación entre ellos. Estos nodos tendrán típicamente una centralidad de intermediación alta, pero no necesariamente una centralidad de alto grado o cercanía. De Nooy *et al.* (2005, p. 31) la define como la proporción de todos los caminos más cortos entre pares de nodos que incluyen el nodo de estudio.
- Centralidad de vector propio: se define en términos de la centralidad del vector propio de los nodos incidentes en él. De manera más descriptiva, en lugar de asignar una única puntuación de centralidad a un nodo, la centralidad del vector propio de un nodo se define en términos proporcionales a los nodos que inciden en él. Un nodo con una centralidad de vector propio elevada es un nodo que está conectado a otros nodos con una centralidad de vector propio alta.

### 3.5. Topología y modelos de red matemáticos

La idea del desarrollo de un modelo matemático de la red que proporcione una topología con propiedades estadísticas similares a las reales ofrece la oportunidad de obtener una plataforma en la que sea posible aplicar diversos métodos matemáticos para analizar comportamientos generales de redes similares. Esta idea se fundamenta en la premisa teórica de que los componentes de cualquier Sistema Complejo pueden ser representados mediante redes complejas (Barabási, 2005; Lozano *et al.*, 2009). De hecho, el tipo y la escala de las interacciones sociales que exhibe una sociedad tienen una profunda influencia en la evolución de la complejidad social (Collar *et al.*, 2015; Bernabeu *et al.*, 2017), proporcionando las herramientas necesarias para analizar y caracterizar interacciones sociales complejas. Para ello tres modelos de red han sido particularmente influyentes para los arqueólogos y los arqueólogos: el modelo aleatorio, el modelo de pequeño-mundo y el modelo de escala libre.

El concepto de redes aleatorias, introducido por primera vez por Erdős y Rényi (1959, 1960), describe redes en las que un conjunto de nodos está conectado de forma tal que cada par de nodos tiene una probabilidad independiente de estar vinculado. Cuando se modela matemáticamente, el proceso de crecimiento de estas redes se aproxima a una distribución de *Poisson*, alcanzando un valor promedio con una cola que disminuye exponencialmente (Newman *et al.*, 2002). Es decir, la red crece cuando todos los nodos pueden agregar enlaces al mismo ritmo. En estas redes, existe una conectividad finita y no hay agrupación de nodos. Es por ello por lo que se da una gran distancia en términos de comunicación entre los nodos que están espacialmente separados en la red. Según Bentley y Maschner (2003), estas redes surgen en los sistemas cuando la desigualdad social y económica se divide o comparte equitativamente entre la población. Debido a la alta conectividad en las redes aleatorias, los sistemas sociales que se les asemejan tienden a tener una mayor frecuencia de transferencia de información entre actores.

Los experimentos de Milgram (1992) y Watts y Strogatz (1998) concluyeron que muchas redes del mundo real tenían una estructura diferente y, por lo tanto, funcionaban de manera distinta a las redes aleatorias, las redes de pequeño-mundo. Estas distribuciones muestran que muchos nodos solo tienen algunos enlaces a sus vecinos más cercanos, mientras que algunos nodos crean más enlaces que se extienden más pero que no controlan, en su totalidad, el flujo de información. Collar *et al.* (2015) la define como una red en la que la longitud media del camino más corto es casi tan pequeña como la de una red uniformemente aleatoria con el mismo número de nodos y densidad, mientras que el coeficiente de agrupamiento es mucho mayor que en una red uniformemente aleatoria. Los modelos matemáticos de este proceso de crecimiento se asemejan a las distribuciones logarítmicas normales.

Finalmente, una red es libre de escala cuando su distribución de grados sigue una ley exponencial (*Power-law*) (Collar *et al.*, 2015), es decir, pocos nodos tienen un grado mucho más alto que todos los demás y la gran mayoría de ellos tienen un grado muy bajo. Los nodos con un grado muy alto, a veces denominados *hubs* en la red, reducen significativamente la longitud promedio de la ruta más corta de la red. Este hecho lo observaron por primera vez Albert y Barabási (2002, p. 49), quienes crearon un modelo matemático simple en el que los nodos se agregan continuamente y se unen preferentemente a aquellos que ya están bien conectados, lo que efectivamente da lugar a un efecto de riqueza cada vez más rica (Barabási, 2005, pp. 79-92). Muchas redes del mundo real resultan tener una estructura sin escala. Esta realización tuvo un impacto significativo en la forma en que se abordan las redes complejas porque no solo implica un cambio dramático en la perspectiva de los gráficos aleatorios sino que también

exhibe propiedades específicas, como la vulnerabilidad a fallas y ataques que ayudan a entender su funcionamiento (Watts, 2003, p. 109).

#### 4. MODELANDO LAS RELACIONES SOCIALES NEOLÍTICAS MEDIANTE EL ESTUDIO DE LOS SEPULCROS DE FOSA

Teniendo en cuenta que el primer paso del proceso de modelado del pasado consiste en transformar los fenómenos históricos en objetos de estudio, en este apartado, se definen, sistematizan y fundamentan las categorías analíticas que los configuran sobre una sólida base teórica.

##### 4.1. Base empírica: los Sepulcros de Fosa

Entre la segunda parte del VII milenio y la mitad del VI milenio AC (Roig *et al.*, 2010) emerge, en el noreste de la península ibérica, el horizonte crono-cultural conocido como los Sepulcros de Fosa (en adelante, SF) (Fig. 2).

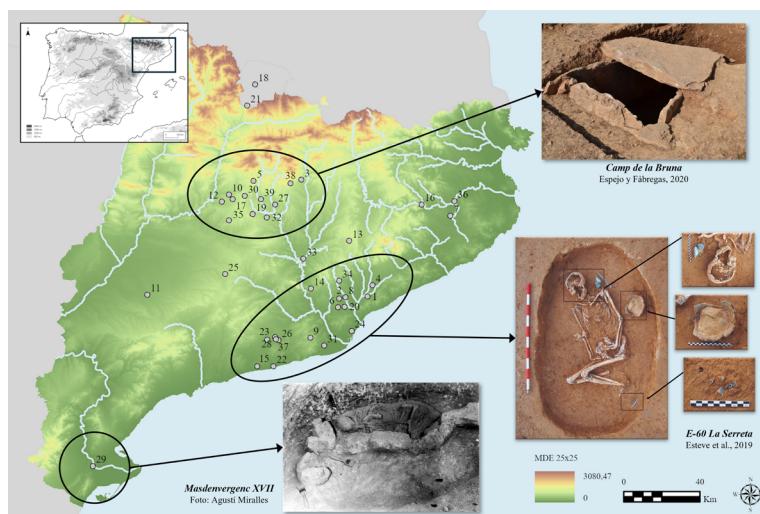


Fig. 2. Mapa de los yacimientos utilizados en este trabajo (véase Material Suplementario) y de las principales características de los sepulcros de fosa.

Este horizonte se ha dividido tradicionalmente en dos etapas (Oms *et al.*, 2016; Gibaja *et al.*, 2017): el Neolítico Postcardial o Neolítico Medio Inicial, fechado entre el 4600-3800 cal AC, caracterizado por los llamados grupos cerámicos Montboló (Guilaine, 1974) y Molinot (Baldellou y Mestres, 1981), así como el grupo cultural de la Boca del Ebro (Bosch y Faura, 2003) y del Jubeterrià (Fortó y Vidal, 2009); y el Neolítico Medio Pleno, fechado entre el 4150-3680 cal AC, momento en el que irrumpen nuevas tipologías cerámicas, como los vasos de boca cuadrada que se relacionan con los grupos culturales franco-itálicos del Chassense y Bocca Quadrata (Gibaja, 2004, p. 17; Molist *et al.*, 2016, p. 149). Aunque la investigación sobre este horizonte presenta una gran trayectoria, sigue despertando el interés de la comunidad científica tal y como evidencian las revisiones sistemáticas de su clasificación y diversidad tipológica (Martín *et al.*, 2016), su cronología (Morell *et al.*, 2018), el estudio de ajuares y prácticas funerarias (Gibaja, 2003; Terradas *et al.*, 2014; Martín *et al.*, 2016), así como cuestiones relacionadas con la dieta y la movilidad (Díaz-Zorita *et al.*, 2021).

En este sentido, existe cierto consenso en considerar que la aparición de los SF favoreció el desarrollo de prácticas político-ideológicas no estrictamente productivas (Gibaja, 2003), como son las funerarias, consolidándose, tal y como señala Muñoz (1997, pp. 267-268), la vida agrícola a partir de asentamientos en zonas de valles y llanuras. La consolidación de dichas prácticas agrícolas facilitó, a su vez, el acopio de materias primas específicas como la obsidiana (Terradas *et al.*, 2014), el sílex de edad barremo-beduliense (Borrell *et al.*, 2019), las hachas de jadeíta (Pétrequin *et al.*, 2012) o la variscita asociada al centro productor de las minas de Gavà (Barcelona) (Borrell *et al.*, 2015), lo que contribuyó a establecer una organización sepulcral más homogénea, con inhumaciones individuales, ocasionalmente dobles y raramente múltiples (Oms *et al.*, 2016), distribuidas aisladamente o en necrópolis (Gibaja, 2004). La aparición de estos elementos exógenos se relaciona con la existencia de intercambios a media y larga distancia (Fíguls y Weller, 2012; Terradas *et al.*, 2014), en los que participan materias locales, como la variscita

o los brazaletes de *Glycymeris*. Este hecho implica la especialización de determinadas regiones (Gavà-variscita, Ebro-*Glycymeris*) en la extracción de estas materias primas (Weller y Fíguls, 2012), que constituyen los adornos que acompañan los diferentes ajuares.

La diversidad tipológica y arquitectónica de estas estructuras suele responder a un criterio geográfico: en el litoral y prelitoral se localizan fosas excavadas en el suelo (Martín *et al.*, 2016) con ciertas diferencias en cuanto a su cobertura, forma de acceso, tipo de paredes, etc. (Ripoll y Llongueras, 1963, p. 63), mientras en la región pirenaica y áreas de interior son en forma de cámara o cista (Castany, 2008). De manera minoritaria, se sigue enterrando en cueva, como la Cova Pasteral (La Cellera de Ter, Girona) (Bosch, 1985) y, excepcionalmente, se localizan inhumaciones en espacios productivos como las minas (Borrell *et al.*, 2015). Las diversas zonas presentarían papeles diferentes en la gestión de la circulación de materias (Gibaja y Terradas, 2012), siendo el Vallès y la costa litoral central catalana un núcleo principal de esta gestión, mientras que Catalunya Central y la llanura prelitoral de Girona jugarían un papel secundario dependiente de este núcleo. El Pirineo dada su frontera de cambio con el sudoeste francés, funcionaría como una zona de gran importancia en la gestión de las redes.

Recientes investigaciones (Allièse, 2016; Duboscq, 2017; Masclans, 2019; Cintas-Peña, 2020) plantean que a partir de la segunda mitad del V milenio cal AC emergieron relaciones disímétricas entre individuos y/o grupos. Según estos trabajos, las relaciones entre individuos sexuados masculinos y femeninos variaron indudablemente según la época y los sectores geográficos. Los masculinos parecerían reflejar una mayor ostentación de estatus que se consolidaría con el tiempo, aunque este no estaría ausente en ciertos individuos femeninos como los del Camí de Can Grau (La Roca del Vallès, Barcelona), la Feixa del Moro (Juberri, Andorra) o Can Gambús-1 (Sabadell, Barcelona), entre otros. Paralelamente, se observaría una creciente asociación de actividades domésticas con individuos femeninos.

Este contexto de relaciones asimétricas emergentes se manifiesta en los aspectos materiales de la sociedad. En este sentido, los sepulcros, como depósitos de trabajo socialmente necesarios, tanto en su construcción y preparación como en su contenido, no solo reflejan la organización y jerarquización de las relaciones sociales, sino que también jugaron un papel crucial en la reproducción y perpetuación del sistema social, ya que son fruto de una práctica político-ideológica y, por tanto, son artefactos que proporcionan información sobre la materialidad socializada (Lull, 1988).

De esta forma, puesto que los sepulcros son un medio de reproducción social (Lull y Picazo, 1989, p. 17), su consumo es considerado como un elemento colectivo y por tanto propicio para efectuar inferencias sobre las relaciones sociales. Así, el estudio del contenedor y contenido funerario posibilita esclarecer diversas significancias del valor social de aquellos productos consumidos (Fig. 3). Concretamente, en el contenedor se lleva a cabo esta práctica en tanto que la construcción de este ya forma parte de su consumo. El estudio del coste y la diversidad de su producción (trabajo), informa de las tendencias de producción en su uso social.

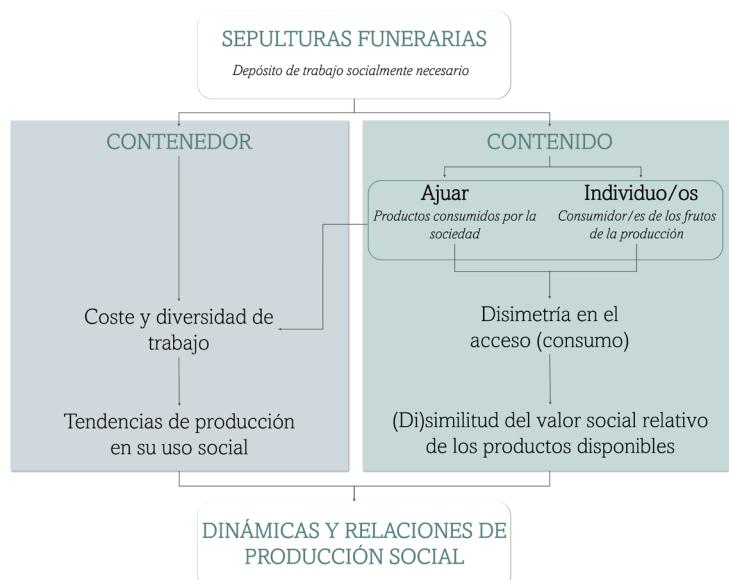


Fig. 3. Propuesta teórica de estudio de los sepulcros funerarios neolíticos.

Asimismo, el contenido se divide entre la propia inhumación y los artefactos (productos) depositados como ajuar en tanto que su consumo es llevado a cabo por la sociedad, ya que esta es la encargada de efectuar su depósito. La persona o personas inhumadas consumen, de forma indirecta, estos productos en tanto que son los vivos los que, al llevar a cabo su depósito final, los asocian a ellas. La importancia de estas personas recae en que son la única expresión material prehistórica en la que se puede detectar qué sexo era consumidor indirecto de la producción, aproximándonos así a la asociación de ambos (contenedor y contenido artefactual). De esta forma, mujeres y hombres, en cuanto sujetos sociales sexuados, son contemplados como dos condiciones independientes, puesto que la producción de cuerpos constituye siempre un factor determinante de la vida social y solo está vinculada a la capacidad de las mujeres para gestar otro cuerpo y relacionarse con él, empleando tiempo y energía para ello (Sanahuja-Yll, 2002). El análisis de una posible división del trabajo como consecuencia de esta diferencia lleva, necesariamente, a observar si existen disimetrías entre las personas que han experimentado esa división (Castro *et al.*, 2005).

La complejidad social reside pues, tal y como señalan Lull y Picazo (1989), en la existencia o no de la división del trabajo, en la disimetría de acceso a los recursos por parte de la población y en las estructuras sociales establecidas que regulan las relaciones y que pueden ser utilizadas para generar y fijar una posible coerción.

#### **4.2. Sistematización y fundamentos de las categorías de análisis**

Una vez definidas teóricamente las categorías empíricas debemos preguntarnos cómo pueden ser abstraídas. Debido a que la organización y el funcionamiento económico-social se manifiestan, en ocasiones, mediante diversas esferas de variabilidad de las prácticas funerarias, la repetición de ciertos atributos subrayará la existencia de tendencias en su uso y consumo (Castro, 1994). Solo después de identificar las asociaciones significativas pueden ser analizadas las tendencias de producción en su contexto social e histórico.

Para ello, es esencial definir ‘tipos’ de artefactos (sepulturas, ajuares, individuos) que incluyan la noción de modelos de producción (Estévez y Lull, 1984, p. 235), evitando considerarlos como simples modelos abstractos que siguen la lógica interna de estructuras o sistemas formales. Es crucial seleccionar atributos observables o variables epistémicamente independientes (Castro, 1994, p. 25), eliminando aquellos aspectos irrelevantes o resultado de situaciones aleatorias. Para vincular atributos materiales y dimensiones sociales, es necesario clasificar previamente las variables seleccionadas, estableciendo convergencias entre ellas y estructurando los datos en sistemas de relaciones. La clasificación debe ser política, es decir, que contemple las entidades arqueológicas (Clarke, 1984) y que incluya las distintas esferas de variabilidad, entendidas como expresiones de los diversos ámbitos sociales del pasado que configuraron la producción, acceso y uso de los productos, permitiendo orientar los casos empíricos según su proximidad a estas tendencias y no por una identificación exacta con un atributo demarcador (Castro, 1994, p. 25-26). De esta forma, un grupo de sepulturas estará compuesto por una serie de atributos característicos compartidos y no por la totalidad de rasgos definidores. Así, cada atributo podrá ser común a distintos elementos del grupo, pero ninguno es por sí solo suficiente y necesario para asegurar la pertenencia al grupo (Clarke, 1984, p. 31).

Los atributos tenidos en cuenta para construir estos grupos han sido el tiempo, espacio, contenido y contenedor funerario. Si bien, el número mínimo de individuos documentados hasta el momento para la totalidad de los SF es de 716 individuos en 193 yacimientos diferentes, para poder analizar sus implicaciones temporales se han seleccionado aquellos sepulcros con presencia de datación radiocarbónica con un grado de fiabilidad aceptable y de material asociado, dando lugar a un total de 110 sepulturas agrupadas en 39 yacimientos distintos (véase Material Suplementario). Las dataciones nos han permitido diferenciar 4 fases o agrupaciones: la fase 1, fechada entre 4314-4105 cal AC, y la fase 2, entre 4077-3902 cal AC, ambas correspondientes al Neolítico Postcardial o Neolítico Medio Inicial, y la fase 3, fechada entre 3762-3739 cal AC, y la fase 4, entre 3689-3332 cal AC, asociadas al periodo conocido como Neolítico Medio. Estas fases han sido definidas utilizando el método desarrollado en Monforte-Barberán (2023). Concretamente se ha computado la sincronía entre dataciones radiocarbónicas mediante la técnica desarrollada por Ward y Wilson (1978), que calcula la media de las dataciones y la compara con cada una individualmente, estimando el error total mediante las desviaciones típicas. Esto permite determinar si las dataciones son simultáneas o corresponden a eventos distintos. Los resultados se han utilizado para construir una red temporal, donde los nodos representan eventos de enterramiento y los vértices indican la probabilidad de simultaneidad. Para identificar fases, se ha aplicado el cálculo de modularidad, que agrupa los nodos simultáneos o cercanos temporalmente en clústeres, revelando la estructura interna de la red. Este algoritmo se basa en el método Louvain (Blondel *et al.*, 2008). Finalmente, cada grupo modular ha sido utilizado para construir un modelo secuencial integrado por 4 fases independientes mediante el OxCal 4.4.4 (Bronk-Ramsey, 2009), dando lugar a los rangos temporales descritos.

Espacialmente, los sepulcros han sido agrupados a partir de criterios geográficos y tipológicos, considerando tanto las diversas unidades territoriales delimitadas por características físicas (ríos, montañas, valles) como las grandes tipologías de las inhumaciones (cuevas, fosas y cistas), lo que permite identificar 12 regiones diferentes: Catalunya Central, desembocadura del Llobregat, Ebre, Empordà, Garrotxa-Gironès, Litoral Central, Lleida, Penedès, Pirineos, Camp de Tarragona, Solsonès y Vallès. A partir de las tipologías clásicas definidas en la bibliografía (Castany, 2008; Martín *et al.*, 2016), el contenedor se ha sistematizado en 8 categorías analíticas: las fosas complejas, simples y aquellas cuyo fin principal era como estructura de almacenaje pero que fueron reutilizadas para uso funerario, las cistas, los megalitos, las minas, las cuevas y las cuevas laterales.

Un proceso similar ha sido llevado a cabo en los artefactos e individuos. Teniendo en cuenta el tipo de materia prima o clase, así como sus variabilidades tipológicas, se han cuantificado y definido varios grupos artefactuales. Concretamente, de la industria lítica se ha diferenciado la obsidiana, el sílex de edad barremo-beduliense o melado y el sílex evaporítico o marítimo procedente de distintas formaciones geológicas del noreste peninsular. En lo referente a la industria macrolítica, se han distinguido las hachas exógenas (jadeíta, serpentina, eclogita, fibrolita, anfibolita cálcica, cinerita de Réquista, nefrita o esquisto ardiosero) de las locales (corneana, pizarra, etc.), mientras que el resto de los elementos se han agrupado en una categoría genérica (manos de molino, percutores, etc.). En cuanto a los ornamentos sobre soporte malacológico, se han reconocido aquellos elaborados con *Glycymeris*, debido a su alta presencia en los conjuntos y su uso para elaborar brazaletes, frente a los realizados con otras especies como *Cardium* sp., *Cerastoderma glaucum*, *Dentalium vulgare*, *Astrea sp.*, *Pecten maximus*, *Chamelea sp.* y *Phalium saburon*, entre otras. En lo relativo a los ornamentos sobre piedra, se han diferenciado las cuentas de variscita, cuyo punto de adquisición es conocido (minas de Gavà), frente a otras cuentas de mineralogía incierta. Finalmente, se ha considerado el uso de colmillos de *Sus scrofa* como ornamento singular y se ha creado una categoría para los elementos ornamentales indeterminados. Se ha cuantificado la presencia de fauna y cerámica, se ha creado una categoría específica para la industria ósea (agujas, espártulas, punzones y plaquetas) y se ha considerado la galena como elemento singular.

Finalmente, la información sistematizada de las personas inhumadas ha sido la edad, siguiendo a Buikstra y Ubelaker (1994), y el sexo, diferenciando femenino, masculino e indeterminado en el caso de individuos infantiles, individuos alofisos y esqueletos en los que no se han conservado los marcadores sexuales.

#### 4.3. Tendencias productivas a lo largo del tiempo y espacio: análisis del contenido artefactual

La complejidad funeraria que presentan los integrantes de los SF sugiere la existencia de divergencias en las tendencias productivas y de consumo, lo que impide considerar este horizonte como homogéneo. Partiendo de esta hipótesis, el análisis de la evolución temporal de los sepulcros funerarios permitirá investigar la emergencia y el desarrollo de estas disimetrías.

Así pues, para comparar las distribuciones de materiales por sepultura y fase con un modelo matemático de la red que proporcione una topología con propiedades estadísticas, se utiliza la metodología desarrollada por Bentley y Maschner (2003), implementada posteriormente por Swantek (2017). Estas investigadoras consideran la riqueza material y el estatus social como datos indirectos que provienen de las conexiones sociales y económicas de los restos arqueológicos. Con ello, toman las frecuencias de diversas categorías de datos como indicadores y las convierten a curvas de distribución acumulativa.

Para determinar la solidez con la que los datos arqueológicos se ajustan a una distribución matemática se ha seguido el protocolo estadístico de Clauset *et al.* (2009) utilizando el paquete PoweRlaw (Gillespie, 2015) de R (R Core Team, 2023), el cual evalúa el ajuste de los datos a una distribución de ley de potencias (LP), una distribución logarítmica normal (LN) o a una distribución exponencial (EXP), es decir, si las redes se comportan como redes aleatorias, de pequeño-mundo o de libre escala. Así pues, al analizar la cantidad de artefactos en cada sepultura y fase, observamos que, exceptuando en la fase 4 ( $KS^1 = 0.161, p = 0.78$ ), que presenta una distribución exponencial con un pequeño número de nodos que concentran la gran mayoría de artefactos, todas las otras fases siguen una distribución aleatoria (fase 1:  $KS = 0.123, p = 0.73$ ; fase 2:  $KS = 0.104, p = 0.78$ ) o de pequeño-mundo (fase 3:  $KS = 0.097, p = 0.58$ ). Es decir, existe una leve tendencia de sepulturas con mayor cantidad de artefactos que otras, pero sin grandes disimetrías. La normalización en el acceso a los artefactos depositados presentaría mayor heterogeneidad en el último momento de los SF.

<sup>1</sup> KS = Estadística de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov.

Con el fin de identificar y caracterizar cuáles son los factores comunes que otorgan valores a la existencia o no de estas homogeneidades en la normalización productiva, se implementa el diseño analítico de Giomi y Peeples (2019), el cual establece una serie de razonamientos basados en las frecuencias relativas y ocurrencias de las clases de artefactos.

Esta aproximación permite evaluar los patrones internos más fuertes de co-asociación de artefactos dividiendo la red en varios agrupamientos (*clusters*) a raíz de eliminar las relaciones más centrales de la red (Newman y Girvan, 2004; Newman, 2006). La creación de estos *clusters* permite el cálculo de diferentes métricas basadas en el ensamblaje de la aglomeración de todas las sepulturas, en otras palabras: la frecuencia de cada artefacto en el grupo y el número de sepulturas en las que está presente en cada agrupación.

Una vez implementado, se desarrolla la propuesta de Kintigh (2006) en la que se aplica un modelo probabilístico para comparar la distribución de tipos de artefactos arqueológicos, permitiendo así analizar el comportamiento distributivo de las sepulturas. Este método calcula la coocurrencia esperada de cada par de artefactos en un conjunto en función del número total de sepulturas consideradas y el número de sepulturas que contienen cada tipo de artefacto, codificando los tipos de artefactos y sepulturas como dos nodos en una red. Este método se basa únicamente en la presencia/ausencia, por lo que se puede aplicar en muchos contextos, incluso cuando solo se dispone de información esquemática sobre los inventarios del contexto arqueológico (Brughmans y Peeples, 2023). De esta forma, se genera un valor para cada par de artefactos a partir de la comparación de la coocurrencia observada en dos clases de materiales en relación con la esperada en función de la frecuencia general de cada uno de ellos.

Para representar estas asociaciones, se toman estos valores y se construye un grafo mediante el paquete Igraph (Csardi y Nepusz, 2006) en R (R Core Team, 2023), implementado en el monográfico de Brughmans y Peeples (2023) (Fig. 4). Esta red toma las clases de adorno como nodo y las conecta, ponderadamente, considerando que una mayor co-asociación es aquella con un valor positivo más alto.

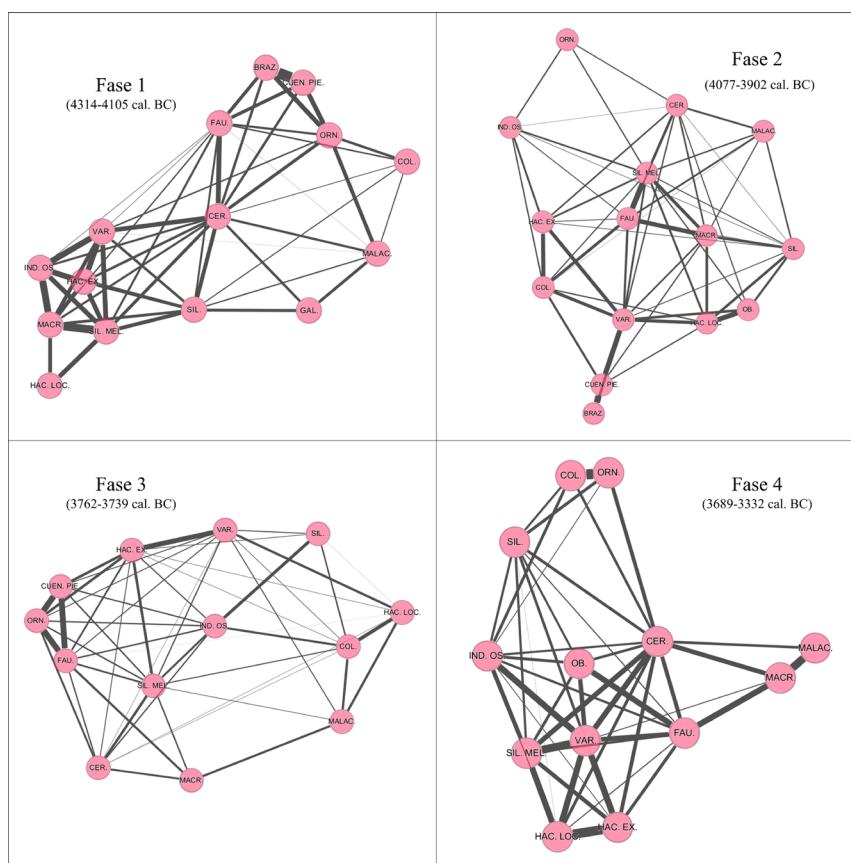


Fig. 4. Redes de co-asociación de artefactos. BRAZ. = Brazaletes de *Glycymeris*, CUEN. PIE. = Cuentas de piedra, ORN. = Ornamento, VAR. = Variscita, COL. = Colmillos de *Sus scrofa*, MALAC. = Malacología, GAL. = Galena, SIL. = Sílex, SIL. MEL. = Sílex melado, HAC. LOC. = Hachas locales, HAC. EX. = Hachas exógenas, MACR. = Macrolítico, IND. OS. = Industria ósea, FAU. = Fauna, CER. = Cerámica.

Se ha utilizado la centralidad de vector propio (Tab. 1) para cuantificar la influencia de cada nodo en la red e interpretar este grafo. Esta medida evalúa la centralidad de un nodo en función de su conexión con otros nodos importantes o centrales. Un valor alto de centralidad indica que un nodo está conectado a otros altamente relevantes según este criterio, o bien a muchos nodos, aunque algunos de ellos sean menos significativos. En cambio, un valor bajo sugiere que el nodo está vinculado a nodos periféricos o de menor relevancia.

	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
	4314-4105 cal AC	4077-3902 cal AC	3762-3739 cal AC	3689-3332 cal AC
Obsidiana	NA	0.490	NA	0.501
Silex melado	1	0.892	0.605	0.846
Silex	0.669	0.472	0.168	0.379
Hachas exógenas	0.819	0.576	0.743	0.730
Hachas locales	0.304	0.700	0.175	0.719
Macrolítico	0.956	0.758	0.258	0.320
Fauna	0.447	0.838	0.992	0.648
Colmillos de <i>Sus scrofa</i>	0.109	0.663	0.222	0.228
Malacología	0.169	0.314	0.146	0.153
Brazaletes de <i>Glycymeris</i>	0.295	0.356	NA	NA
Cuentas de variscita	0.896	1	0.503	1
Cuentas de piedra	0.295	0.603	0.963	NA
Ornamento indeterminado	0.307	0.117	1	0.228
Galena	0.162	NA	NA	NA
Industria ósea	0.911	0.275	0.473	0.580
Cerámica	0.784	0.498	0.418	0.600

Tab. 1. Valor de centralidad de vector propio de tipos de artefactos para cada fase. NA indica la ausencia de la clase de artefacto.

Los resultados indican que la emergencia de tendencias desiguales en los sepulcros puede ser fruto de nuevas asociaciones entre materiales en las distintas fases. En particular, no se observan relaciones significativas entre materiales exógenos. En las sepulturas se deposita un material exógeno acompañado de otro material no exógeno, pero nunca dos exógenos conjuntamente. Este hecho puede indicar unas vías de distribución y consumo potencialmente diferenciales, aunque se den en un mismo territorio. Por otro lado, la variscita, un material de origen local, pero con un alto valor de asociación debido a su circulación hasta más allá de los Pirineos, podría compartir el mismo circuito que las hachas. Sin embargo, estas seguirían trayectorias espaciales opuestas: la variscita iría de sur a norte mientras que las hachas lo harían de norte a sur. El sílex melado, en cambio, no muestra una asociación constante con otros materiales a lo largo del modelo. Esto sugiere que, aunque no puede vincularse directamente con ningún otro elemento, desempeña un papel clave dentro del circuito de materiales.

La relación entre las hachas exógenas y la variscita, un material que viaja de sur a norte, también es notable. Aunque no necesariamente comparten las mismas rutas, es razonable suponer que ambos materiales podrían formar parte del mismo circuito, pero en direcciones diferentes. Por último, artefactos como los macrolíticos, la fauna, los ornamentos indeterminados y la cerámica muestran asociaciones relevantes entre sí.

Al analizar la distribución de los materiales en las sepulturas, se observa que tan solo el sílex melado ( $KS = 0.031, p = 0.95$ ), el sílex ( $KS = 0.022, p = 0.94$ ), las hachas locales ( $KS = 0.087, p = 0.18$ ), los colmillos de *Sus scrofa* ( $KS = 0.066, p = 0.65$ ), la variscita ( $KS = 0.105, p = 0.77$ ), las cuentas de piedra ( $KS = 0.286, p = 0.52$ ) y la industria ósea ( $KS = 0.09, p = 0.53$ ) muestran, en su mayoría, altos valores de distribución exponencial. Esto indica que los materiales tienden a agruparse en un número reducido de sepulturas.

Si bien estas medidas nos ayudan a observar la distribución y relación específica entre cada uno de los artefactos depositados como ajuar, para analizar las disimetrías propias de cada depósito funerario se construyen redes de similitud entre sepulcros, donde cada nodo representa una sepultura. Para ello, se utiliza un índice de similitud cualitativo que basa su análisis en observar la presencia/ausencia de artefactos. En este sentido, se ha utilizado el coeficiente de Jaccard, puesto que es más sensible a la presencia de las clases menos extendidas en la muestra. Ciento es que existen gran cantidad de índices de similitud-disimilitud (Habiba *et al.*, 2018) por lo que la elección de este método se basa en la muestra, ya que no se ve afectado por el tamaño absoluto de los conjuntos, sino por la proporción de elementos compartidos.

En total se han llevado a cabo 4 grafos unimodales (Figs. 5 y 6), uno para cada fase temporal, pesados y unidireccionales, representados con el *software* Gephi 0.10.1 (Blondel *et al.*, 2008). El algoritmo de distribución utilizado para visualizar las redes es el Force Atlas con inercia 0.1, fuerza de repulsión 20000, fuerza de atracción 10, gravedad 30. Todos ellos han sido comparados con su respectiva red bimodal o de afiliación implementada mediante el *software* desarrollado por Borgatti *et al.* (2002) (Ucinet 6).

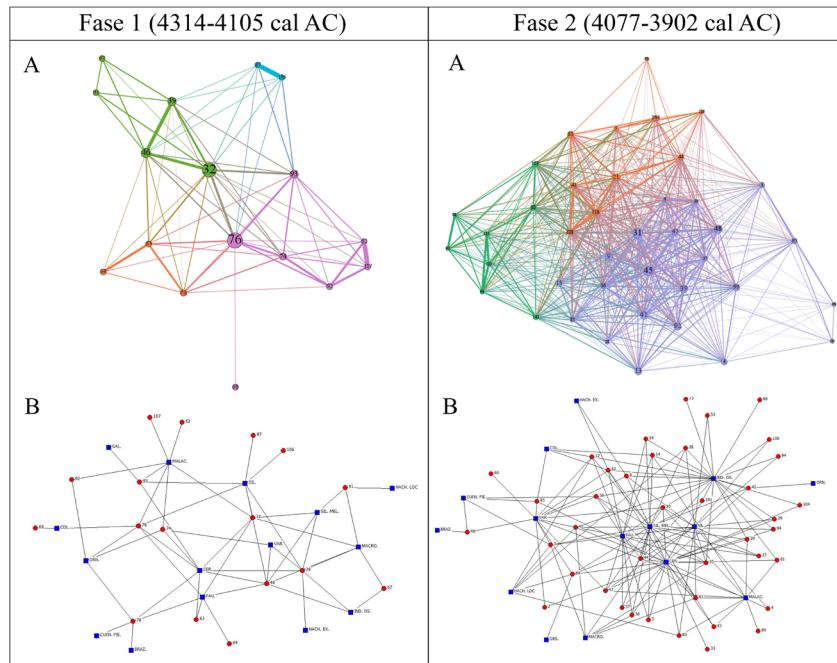


Fig. 5. Grafos unimodales y bimodales para las fases 1 y 2. (A) Grafos unimodales pesados donde el color de los nodos es el grupo modular y el tamaño su grado de intermediación. (B) Grafos bimodales donde los cuadrados azules representan el ajuar de las sepulturas mientras que los círculos rojos representan las sepulturas.

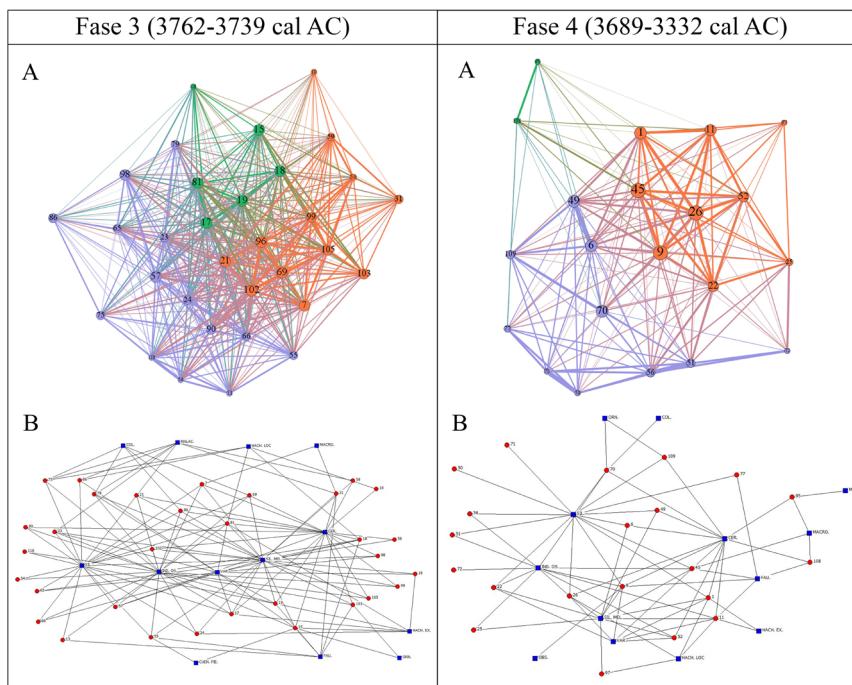


Fig. 6. Grafos unimodales y bimodales para las fases 3 y 4. (A) Grafos unimodales pesados donde el color de los nodos es el grupo modular y el tamaño su grado de intermediación. (B) Grafos bimodales donde los cuadrados azules representan el ajuar de las sepulturas mientras que los círculos rojos representan las sepulturas.

Las esferas de variabilidad productiva o grupos políticos al que son asociadas cada una de las sepulturas ha sido calculado mediante el algoritmo de Louvain, método heurístico utilizado para detectar comunidades de red que busca maximizar el valor modular, es decir, encontrar una partición de la red que tenga una alta modularidad. Los grupos son considerados como particiones significativas que permiten una observación de la estructura de la red en múltiples resoluciones (Blondel *et al.*, 2008).

Este análisis ha sido acompañado del estudio de las medidas y topología de red expuesto anteriormente (Fig. 7). En este sentido, la densidad nos indica la facilidad con la que fluye la información a través de la red, mientras que el coeficiente de agregación proporciona información sobre el grado de resiliencia de la red frente a disruptores. Al analizar el flujo de información, observamos un aumento progresivo hasta la fase 3, seguido de una caída durante la etapa de fragmentación o fase 4. En la fase 3, los altos niveles de agregación (0.954) provocan un descenso en el valor de la modularidad, lo que refleja una distribución más uniforme de los nodos, sin grupos bien definidos. Esto puede ser indicativo de una estructura más aleatoria y menos organizada. Esta estructura menos cohesionada conduce a un aumento de la modularidad en la fase 3 y a la eventual desaparición del fenómeno.

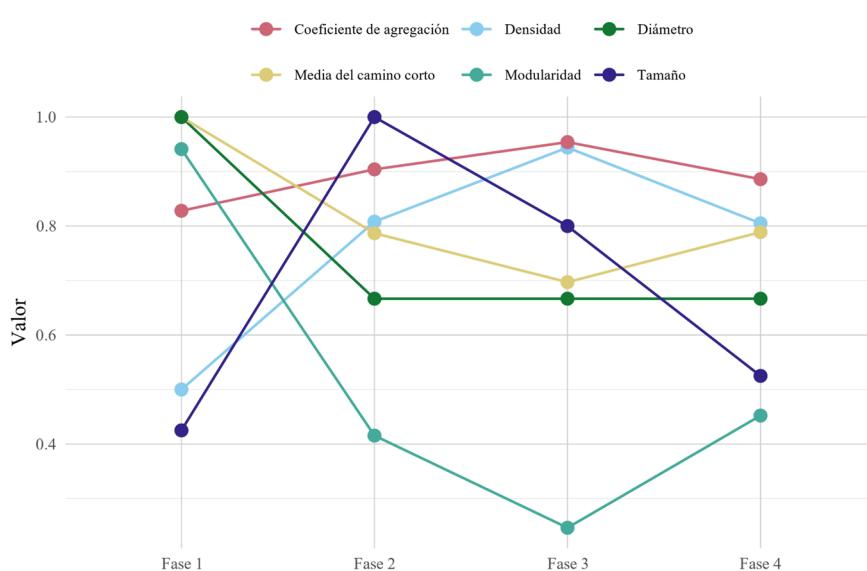


Fig. 7. Características globales de cada fase para el modelo de red.

Podemos considerar que la fase 1 representa una etapa de ‘transición’ en la que, de manera excepcional, se observa por primera vez la aparición de materiales exógenos en sepulturas como Bòbila Madurell-Mas Duran-G10 (Sant Quirze del Vallès, Barcelona) o Mas Pujó-E16 (Vilafranca del Penedès, Barcelona). Estas primeras asociaciones entre materiales locales y exógenos a modo de red de pequeño mundo ( $KS = 0.123, p = 0.73$ ), indican que los nodos tienden a agruparse en pequeños grupos altamente conectados. La formación inicial de estos contactos facilita una expansión demográfica exponencial en la fase 2, que se consolida sobre circuitos ya establecidos, como se evidencia en las relaciones de alta relevancia entre materiales exógenos y locales.

El gran cambio material que implicó esta emergencia generó nuevas relaciones y asociaciones, manteniendo de manera constante la conectividad y, con ello, los flujos de información. La estabilización de los valores de conectividad de la red, durante la fase 2, se logró gracias a su alto grado de resiliencia ante los cambios y al crecimiento progresivo de su tamaño, pasando de 17 a 40 nodos. Esto dio lugar a la formación de grupos con características distintas. Concretamente, las sepulturas de color morado en el grafo A de la fase 2 (Fig. 5) contienen tanto materiales exógenos (sílex melado, hachas exógenas y obsidiana) como locales (fauna y hachas locales), que aparecen asociados entre sí. Este hecho, junto con la prevalencia de materiales locales en los grupos verde y naranja, sugiere diferentes niveles de exposición y adopción de materiales según el grupo modular. En este contexto, el grupo morado parece actuar como un centro redistribuidor. Esta organización habría facilitado, por primera vez, la introducción de nuevos materiales como la obsidiana, así como la aparición de nuevas co-asociaciones materiales.

De forma inmediatamente posterior, durante el breve lapso de la fase 3 (3762-3739 cal AC), sucede una sustitución de nodos debido a los altos valores de agregación (Fig. 6). Los nodos que desaparecen se sustituyen por otros que se encuentran más cercanos entre ellos y que presentan influencias Chassense, dando lugar a lo que,

tradicionalmente, se conoce como Neolítico Medio Pleno. Esta sustitución ha sido calculada utilizando el valor de ratio de homogeneidad o NTR en ventanas temporales de 150 años de duración (Bernabeu *et al.*, 2017; Jiménez-Puerto, 2022b), cuantificando la forma en la que fluye la información, es decir, si el sistema se expande o se contrae o si los nodos han sido reemplazados parcial o totalmente. De esta forma, en la ventana 3900-3750 cal AC, se observa la aparición de nuevos nodos ( $NTR = 0.235$ ), mientras que en la siguiente ventana temporal (3750-3600 cal AC), correspondiente a esta fase, se produce la desaparición de una gran cantidad de nodos periféricos y algunos centrales ( $NTR = -0.189$ ), siendo sustituidos por otros de importancia similar que se encuentran altamente conectados.

La rápida aparición de estos nuevos *hubs* se define por la expansión y generalización de los contenedores en cista en el Solsonès y el Pirineo, como se observa en la Fig. 8, donde los nodos se distribuyen espacialmente. Al analizar el grafo de la fase 3, se observa una extensa área de influencia en el Vallès, representada en color naranja, que se conecta con el Solsonès y otras regiones a través del sílex melado, así como por el grupo de color verde, caracterizado por la presencia de hachas exógenas. La conexión parece seguir una dirección Vallès-Solsonès, ya que el Solsonès no presenta ‘elementos significativos’ propios que pudieran circular hacia el sur mientras que la obtención de variscita se sitúa en las minas de Gavà, cerca del Vallès, lo que sugiere su circulación hacia el norte.

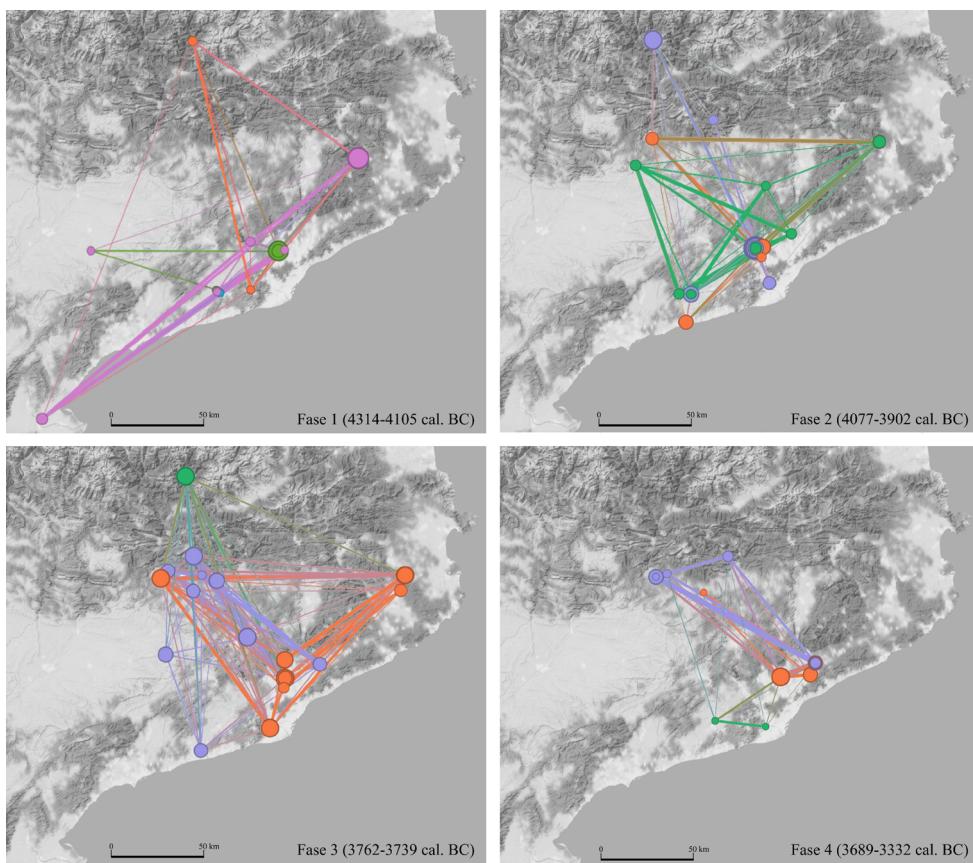


Fig. 8. Grafos unimodales pesados para cada una de las fases donde la distribución de los nodos es espacial, su color es el grupo modular y su tamaño el grado de intermediación.

Aunque en esta fase disminuye la relevancia de algunos materiales fundamentales en etapas anteriores, como la variscita, la relación entre materiales exógenos y locales mantiene características similares a la fase previa. Sin embargo, se observa un incremento en la importancia de ciertos materiales locales, previamente poco influyentes, como el ornamento indeterminado o las cuentas de piedra. Este fenómeno refleja una ligera variación en el consumo de materias locales, una dinámica que no había sido identificada previamente. Este período de ‘esplendor’ de los contenedores en cista se sitúa entre el 4077-3902 cal AC, ajustando ligeramente algunas propuestas tradicionales (Gibaja *et al.*, 2017).

Finalmente, aunque en la fase 4 se observen patrones de asociación de materiales similares a los de la fase 3, destaca una conexión renovada entre el Vallès y el Solsonès, evidenciada por el alto valor de asociación entre las hachas locales y el sílex melado. Sin embargo, como se ha señalado anteriormente, serían pocas las sepulturas que concentrarían estos materiales, mientras que en la gran mayoría solo estarían presentes en frecuencias bajas. Este

fenómeno podría haber sido el resultado de una pérdida de nodos, observada en la ventana temporal 3600-3300 cal AC ( $NTR_x = -0.376$ ) y de una reducción en el tamaño de la red, que disminuye de 32 a 21 nodos. Esta dinámica habría conducido a una fragmentación total del sistema y a la desaparición del fenómeno de SF, lo que dio lugar a la aparición de nuevas prácticas funerarias características del Neolítico Final/Calcolítico (Clop y Majó, 2017).

Este proceso puede contrastarse al analizar la importancia relativa de cada región dentro del sistema a lo largo del tiempo (Fig. 9). Para ello, se han calculado los valores de intermediación regional (promedio de la suma de la intermediación de cada nodo), lo que ha permitido identificar la relevancia del Vallès durante la fase 1, alcanzando su punto máximo en la fase 2. En esta etapa, los contenedores tipo fosa, representados por el Penedès, el Vallès y el Garrotxa-Gironès, concentran la mayor parte del valor de intermediación. A su vez, los contenedores tipo cista del Pirineo aún mantienen mayor influencia que el Solsonès. Sin embargo, este patrón cambia en la fase 3, aunque los circuitos de materiales se conservan. En la fase 4, el sistema experimenta una fragmentación, quedando distribuido principalmente entre dos áreas: el Vallès y el Solsonès.

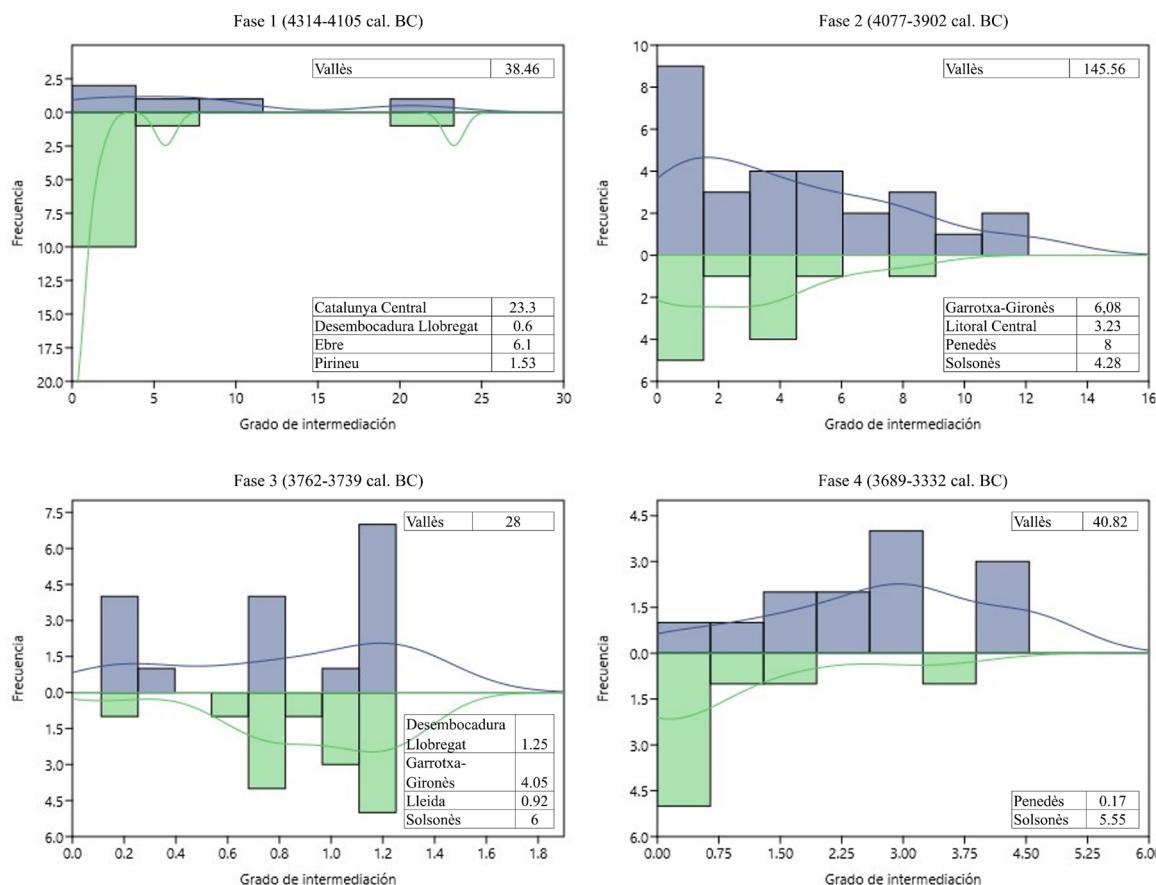


Fig. 9. Frecuencia de los valores de intermediación para cada fase del Vallès (azul) comparados con el resto de las zonas (verde).

#### 4.4. Evolución demográfica y detección de (di)similitudes socioeconómicas

Considerando que las relaciones asimétricas emergentes se reflejan en los aspectos materiales, y que estos son consumidos indirectamente por las personas inhumadas, su estudio, como factores determinantes en la producción de la vida social, resulta altamente útil para el análisis demográfico prehistórico y para examinar las asimetrías sociales que podrían estar vinculadas al sexo, la edad o el grupo social. Esto se debe a que es la sociedad la que permite que el tratamiento de la muerte se apropie de un trabajo social, primando a un muerto o a un grupo de muertos sobre los demás como una inversión para la reproducción del sistema en el orden deseado (Lull y Picazo, 1989, pp. 17-18). Este hecho permite observar la existencia de dinámicas disímétricas en el consumo indirecto de los artefactos por parte de los individuos enterrados.

En este sentido, los datos de los SF indican que los individuos con una mayor tasa de mortalidad, o al menos los más inhumados, son los adultos, aunque también se observa una alta mortalidad infantil y una mayor representación de individuos maduros/seniles en las fases intermedias (Fig. 10). La mayoría de estos individuos son masculinos

( $n = 79$ ), aunque la diferencia con los femeninos ( $n = 54$ ) no es estadísticamente significativa ( $p = 0.79$ ). La principal diferencia entre ambos grupos radica en el momento de su mayor auge: las mujeres alcanzan su máximo en la fase 2, mientras que los hombres lo hacen en la fase 3. La sustitución de algunos nodos por otros nodos muy unidos entre sí, en la fase 3, dio lugar a un decrecimiento de inhumaciones femeninas. Es decir, la eclosión de las cistas del Solsonès y Pirineo conllevó un cambio en el patrón de crecimiento demográfico que afectó tan solo a los individuos femeninos. Sin embargo, estos cambios no conllevaron un desequilibrio en el patrón de circulación de materiales, tal y como ha sido discutido anteriormente.

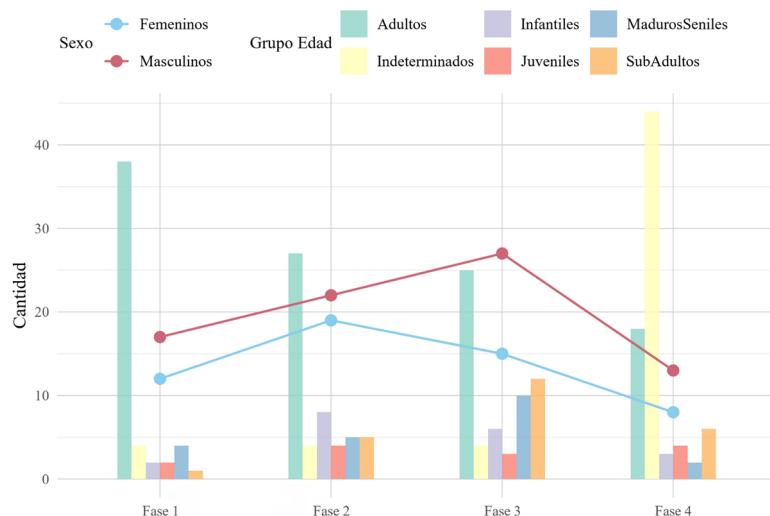


Fig. 10. Evolución de la estructura demográfica (sexo y edad) de los sepulcros de fosa.

Autoras como Dubosq (2017, p. 511) afirman que los individuos masculinos parecen gozar de un ‘estatus’ más elevado que los femeninos, aunque estos últimos no se encontrasen completamente excluidos de tales rangos de ‘prestigio’. En este sentido, el ‘estatus’ o ‘prestigio’, entendido como la asignación cuantitativa y cualitativa de los artefactos que acompañan a estas inhumaciones, no ha podido ser verificado al analizar la relación entre los individuos y los grupos políticos previamente mencionados, ya que su correlación no ha mostrado significación estadística ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, al analizar la cantidad de artefactos por sexo (Tab. 2), se observa que la distribución entre los individuos femeninos es aleatoria, mientras que en los individuos masculinos existe una débil tendencia a la acumulación de artefactos por algunos de ellos. Si examinamos la evolución a lo largo del tiempo, se observa que la cantidad de materiales asociados a los individuos femeninos en la fase 2 sigue una distribución exponencial, hecho significativo puesto que en el modelo general su distribución es aleatoria. Esto coincide con el pico máximo de crecimiento demográfico femenino, pudiéndose correlacionar que, a mayor número de individuos femeninos, mayores son las disimetrías entre estos.

	Estadística	Masculinos			Femeninos		
		LP	LN	EXP	LP	LN	EXP
Total	KS	0.086	0.053	0.431	0.103	0.076	0.192
	$p$	0.4	0.81	0*	0.64	0.32	0.27
Fase 1	KS	0.219	NA	0.584	0.195	NA	0.642
	$p$	0.73	NA	0.2	0.23	NA	0.16
Fase 2	KS	0.147	0.146	0.109	0.147	0.135	0.235
	$p$	0.7	0.03*	0.10*	0.31	0.26	0.54
Fase 3	KS	0.115	0.087	0.271	0.106	0.102	0.173
	$p$	0.69	0.75	0*	0.95	0.88	0.2
Fase 4	KS	0.137	0.122	0.300	0.279	0.186	0.318
	$p$	0.74	0.72	0*	0.08*	0.34	0.28

Tab. 2. Resultados de la bondad de ajuste para la presencia de artefactos según el sexo de los individuos en cada una de las fases. Se descartan las distribuciones con valores de  $p \leq 0.1$  (\*).

Para profundizar en la lectura de posibles disimetrías entre sujetos, se ha utilizado el coeficiente de Gini como una medida que evalúa la desigualdad en la distribución del ajuar entre las tumbas. Este coeficiente varía entre 0 y 1, donde 0 indica igualdad perfecta y 1 refleja desigualdad extrema. Este análisis se complementa con el test de KS, ya que, mientras el coeficiente de Gini se enfoca en cuantificar el grado de desigualdad dentro de la distribución del ajuar, el test de KS permite contrastar si dicha distribución se ajusta a un modelo teórico o esperado. De esta forma, Gini pone de manifiesto disparidades internas en los datos, mientras que KS examina si las disimetrías observadas responden a distribuciones aleatorias o a patrones establecidos. La combinación de ambos enfoques ofrece una perspectiva más integral sobre las posibles asimetrías y su conexión con las dinámicas sociales subyacentes. Su implementación ha sido llevada a cabo mediante el paquete Gini (Buchan, 2002) en R (R Core Team, 2023), revelando que la fase 1 es el periodo de mayor desigualdad general (0.871 y 0.853 para masculinos y femeninos, respectivamente) (Fig. 11), aunque también es el que presenta la mayor igualdad entre sexos. Aun así, dado que su distribución se aproxima a una curva normal ( $KS = 0.219, p = 0.73$  en masculinos y  $KS = 0.195, p = 0.23$  en femeninos), podemos concluir que hay individuos con niveles de riqueza superiores e inferiores al promedio, lo que no es suficiente para afirmar que estamos ante una sociedad profundamente desigual, ya que la distribución sugiere cierta normalidad estadística. Sin embargo, en la fase 2, los individuos femeninos presentan marcadores de asimetría mucho más elevados que los masculinos, lo que refuerza la idea de un incremento en las desigualdades entre las mujeres durante esta fase, correlacionando nuevamente el número de individuos femeninos con su grado de asimetría.

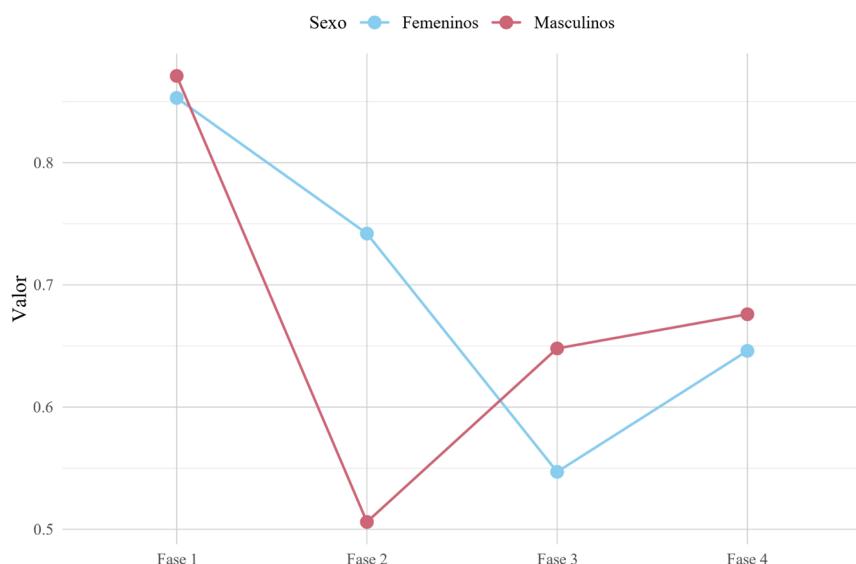


Fig. 11. Valores Gini de los individuos sexuados para cada una de las fases.

Al analizar los materiales que aparecen en estas sepulturas para concretar en qué se basan dichas disimetrías (Fig. 12) se observa que las dinámicas desiguales entre individuos femeninos se constatan en materiales concretos como el sílex melado, la variscita y la industria ósea, los cuales se acumulan en pocas sepulturas. Es decir, pocos individuos femeninos acumulan la gran mayoría de elementos susceptibles de participar en circuitos de cambio o intercambio. Por el contrario, esta dinámica no se observa en los individuos masculinos, donde no se da ninguna acumulación disímétrica susceptible de contener valor de cambio, puesto que las acumulaciones de materiales por algunos de sus individuos son de sílex, hachas locales, malacología y cerámica. Aun así, la cantidad total de materiales depositados en inhumaciones femeninas no supera, exceptuando la fase 2, las inhumaciones masculinas. Este hecho, juntamente con la presencia de mayor cantidad de individuos masculinos refuerza la idea de una disimetría incipiente entre ambos性, aunque no determinante.

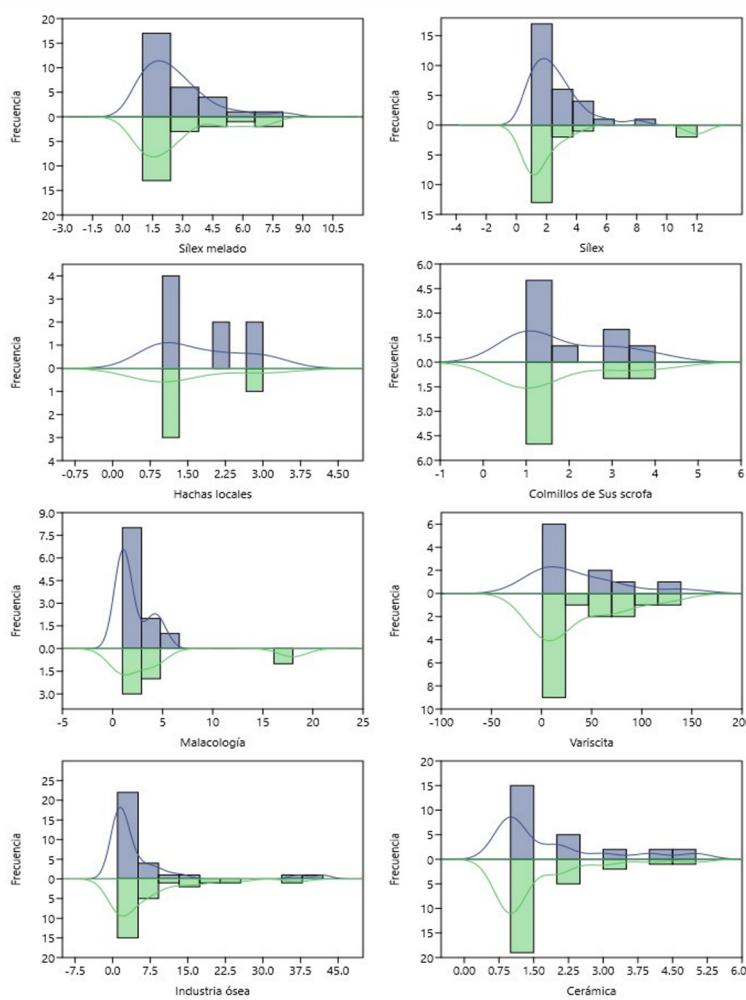


Fig. 12. Frecuencia de aparición de cada clase de artefacto para individuos masculinos (azul) y femeninos (verde). No se ha computado para las clases de artefactos con  $\leq 5$  muestras en ambos sexos. En la malacología se ha eliminado el valor de 1856, considerado atípico (*out-layer*) para este gráfico.

Finalmente, los datos relacionados con las edades no resultan tan relevantes como los anteriores, ya que la categoría de edad incluye más subdivisiones (infantil, juvenil, subadulto, adulto, maduro, indeterminado), lo que reduce la cantidad de individuos en cada grupo. Por lo tanto, aunque se realizaron los mismos análisis que para el sexo, no se obtuvo significancia ni solidez estadística.

Más allá de estos análisis, cabe destacar aquellos estudios cualitativos que pueden mostrar disimetrías. Concretamente, los estudios alimentarios (Fontanals-Coll *et al.*, 2015), a pesar de detectar algunas diferencias entre ambos性, no evidencian unas claras disimetrías sociales. Por otro lado, las marcas de trabajo como las fuertes inserciones musculares, que reflejan la práctica constante de actividad física intensiva<sup>2</sup>, si bien son documentadas en algunas sepulturas, tampoco son concluyentes. Las lesiones y traumatismos predominan en los individuos masculinos, aunque las marcas de estrés se observan en la gran mayoría. Los análisis isotópicos llevados a cabo recientemente (Díaz-Zorita *et al.*, 2021) sugieren una división social y sexual de las actividades, con una mayor participación de las mujeres en trabajos sedentarios, hecho que podría haber dado lugar a una restricción de sus movimientos. Aun así, Díaz-Zorita *et al.* (2021) señalan que el carácter voluntario o impuesto de esta restricción no puede ser conocido. De la misma forma, el uso que habrían tenido algunos de los artefactos localizados como ajuar (Gibaja, 2003) plantea la posibilidad de una división del trabajo entre sexos, asociándose la manipulación de fibras vegetales a más mujeres e

<sup>2</sup> Armentano, N. y Carrascal, S. (2010). *Informe de l'estudi antropològic. La Serreta-Vilafranca Centre (Vilafranca del Penedès)*. Servei d'Arqueologia i Paleontologia.

inmaduros, aunque no de forma estadísticamente significativa. El único tipo de artefacto que se vincula de manera predominante y estadísticamente significativa con los individuos masculinos son las puntas de flecha.

Las diferencias detectadas a través de estos análisis reflejan sin duda disimetrías entre sujetos que parecen estar relacionadas en cierta medida con el sexo de los inhumados, aunque no de forma determinante. Si bien se observan diferentes tendencias en el consumo de materiales, a nuestro parecer, la emergencia de disimetrías entre individuos se daría por factores político-ideológicos que ignoramos, aunque sí conocemos su expresión: un aumento demográfico que conllevó la aparición de disimetrías entre mujeres, pudiendo ser esta una causa-consecuencia de un mayor control de la reproducción social.

## 5. REFLEXIONES FINALES

En este trabajo se han desarrollado las bases conceptuales y teóricas fundamentales para implementar el modelo de redes en arqueología. Con ello, hemos demostrado el potencial del Análisis de Redes Sociales (ARS) como herramienta para detectar e interpretar patrones de relaciones entre sujetos de interés. Este proceso de abstracción, conceptualización, representación y análisis ha permitido abordar la complejidad del pasado a través del estudio de las relaciones sociales, construyendo una representación más precisa de la emergencia de disimetrías en el noreste de la península ibérica durante el Neolítico.

El estudio pone de relieve que estas disimetrías sociales no surgieron de manera lineal, sino que están íntimamente relacionadas con los cambios provocados por la adopción de un modelo económico agropecuario. Este modelo trajo consigo transformaciones en la organización y estructura social, facilitando la creación de redes de circulación de materiales. La relación entre estas redes y el modelo socioeconómico debe entenderse desde una perspectiva dialéctica: el desarrollo de la economía agropecuaria promovió la aparición de estas redes, y a su vez, dichas redes impulsaron el desarrollo económico. Todo esto se refleja tanto en las prácticas productivas como en los patrones de consumo de los sepulcros funerarios, impactando tanto en los aspectos económicos como en la estructura social, es decir, en las relaciones sociales.

En definitiva, la aplicación del ARS en arqueología abre un abanico de oportunidades para mejorar la comprensión de las sociedades humanas del pasado.

## MATERIAL SUPLEMENTARIO

En el sitio web de la revista se incluye un anexo con la siguiente tabla: Total de sepulturas y dataciones radiocarbónicas disponibles para el horizonte de Sepulcros de Fosa del noreste de la península ibérica.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo, llevado a cabo en el marco de la producción de una tesis doctoral, no habría sido posible sin la guía y supervisión del Dr. Salvador Pardo-Gordó y del Dr. Miquel Molist, así como el apoyo de todos los miembros del Seminari d'Arqueologia Prehistòrica del Pròxim Orient (SAPPO) de la Universitat Autònoma de Barcelona. A todos ellos y ellas expreso mi más profundo agradecimiento. Asimismo, agradezco sinceramente la revisión desinteresada de los/as evaluadores/as y las valiosas sugerencias del equipo editorial que han contribuido significativamente a la mejora de este trabajo.

## DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara que no tiene intereses económicos ni relaciones personales que pudieran haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

## FUENTES DE FINANCIACIÓN

Este artículo se ha elaborado gracias al contrato predoctoral 2019-F1-B-00927 financiado por la Generalitat de Cataluña en el marco del I+D “Caracterización de las sociedades agrícolas en el valle del Tigris: Proyecto arqueológico en el Kurdistán Iraquí” (T002019N0000038379) y del SGR Grup de Recerca de la Mediterrània i del Pròxim Orient (SGR 2021 00744).

## DECLARACIÓN DE CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Andreu Monforte-Barberán: conceptualización, análisis formal, investigación, metodología, visualización, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.

## BIBLIOGRAFÍA

- Albert, R. y Barabási, A. L. (2002). "Statistical mechanics of complex networks". *Reviews of Modern Physics*, 74, pp. 47-97.  
DOI: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.74.47>.
- Albert, R., Jeong, H. y Barabási, A. L. (1999). "Diameter of the World-Wide Web". *Nature*, 401, pp. 130-131. DOI: <https://doi.org/10.1038/43601>.
- Allièse, F. (2016). *Los enterramientos de la Bòbila Madurell-Can Gambús (Vallés Occidental). Un enfoque sobre las prácticas funerarias del noreste de la península ibérica a finales del IV milenio a.C.* Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10803/401004>.
- Angourakis, A. (2023). "El lugar de la simulación social en arqueología". *Vegueta: Anuario de la Facultad de Geografía e Historia*, 23 (1), pp. 15-55. DOI: <https://doi.org/10.51349/veg.2023.1.02>.
- Baldellou, V. y Mestres, J. (1981). "Les Guixeres de Vilobí, hàbitat del Neolític Antic a l'aire lliure". *El Neolític a Catalunya. Taula rodona de Montserrat*. Montserrat: Publicacions de l'Abadia, pp. 69-74.
- Barabási, A. L. (2005). "Network Theory. The Emergence of the Creative Enterprise". *Science*, 308 (5722), pp. 639-641.  
DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1112554>.
- Barrera-Cruz, M., García-Puchol, O., Jiménez-Puerto, J., Cortell-Nicolau, A. y Bernabeu-Aubán, J. (2024). "Weaving social networks from cultural similarities on the neolithisation process in the Western Mediterranean: Evolutionary trajectories using projectile tools". *PLoS One*, 19 (7), e0306027. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306027>.
- Barton, C. M. (2014). "Complexity, Social Complexity, and Modeling". *Journal of Archaeological Method and Theory*, 212, pp. 306-324.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10816-013-9187-2>.
- Bentley, R. A. y Maschner, H. D. G. (2003). *Complex Systems and Archaeology: Empirical and Theoretical Applications*. Foundations of Archaeological Inquiry. Salt Lake City: University of Utah Press.
- Bernabeu, J., Lozano, S. y Pardo-Gordó, S. (2017). "Iberian Neolithic Networks: The Rise and Fall of the Cardial World". *Frontiers in Digital Humanities*, 4, 7. DOI: <https://doi.org/10.3389/fdigh.2017.00007>.
- Blondel, V. D., Guillaume, J. L., Lambiotte, R., y Lefebvre, E. (2008). "Fast unfolding of communities in large networks". *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 200810, P10008. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2008/10/P10008>.
- Bonacich, P. (1972). "Factoring and weighting approaches to status scores and clique identification". *The Journal of Mathematical Sociology*, 21, pp. 113-120. DOI: <https://doi.org/10.1080/0022250X.1972.9989806>.
- Borgatti, S. P. y Everett, M. G. (1997). "Network analysis of 2-mode data". *Social Networks*, 19 (3), pp. 243-269.  
DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-8733\(96\)00301-2](https://doi.org/10.1016/S0378-8733(96)00301-2).
- Borgatti, S. P., Everett, M. G. y Freeman, L. C. (2002). *Ucinet for Windows: Software for Social Network Analysis* (Versión 6) [Software].
- Borgatti, S. P., Everett, M. G. y Johnson, J. C. (2013). *Analyzing Social Networks*. Thousand Oaks: Sage Publications.
- Borgatti, S. P., Mehra, A., Brass, D. J. y Labianca, G. (2009). "Network Analysis in the Social Sciences". *Science*, 323 (5916), pp. 892-895.  
DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1165821>.
- Borrell, F., Bosch, J., Gibaja, J. F., Schmidt, P. y Terradas, X. (2019). "The status of imported Barremian-Bedoulian flint in north-eastern Iberia during the Middle Neolithic. Insights from the variscite mines of Gavà (Barcelona)". *PLoS One*, 14 (11), e0224238.  
DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224238>.
- Borrell, F., Bosch, J. y Majó, T. (2015). "Life and death in the Neolithic Variscite Mines at Gavà (Barcelona, Spain)". *Antiquity*, 89 (343), 72-90.  
DOI: <https://doi.org/10.15184/ajy.2014.30>.
- Bosch, A. (1985). "La cova del Pasteral. Un jaciment neolític a la vall mitjana del Ter". En: *Homenatge al Dr. J. M. Corominas*. Quaderns del Centre d'Estudis Comarcals de Banyoles. Banyoles: Centre d'Estudis Comarcals de Banyoles, vol. II, pp. 29-56.
- Bosch, J. y Faura, J. M. (2003). "Pratiques funéraires néolithiques dans la région des Bouches de l'Ebre". En: Chambon, P. y Leclerc, J. (Eds.). *Les pratiques funéraires néolithiques avant 3500 av. J.-C. en France et dans les régions limitrophes. Actes de la table ronde SPF, Saint-Germain-en-Laye, 15-17 juin 2001*. Mémoire de la Société préhistorique française, 33. Paris: Société préhistorique française, pp. 153-159.
- Brandes, U. (2001). "A faster algorithm for betweenness centrality". *The Journal of Mathematical Sociology*, 252, pp. 163-177.  
DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2205.00162>.
- Brandes, U., Robins, G., McCranie, A. y Wasserman, S. (2013). "What is network science?". *Network Science*, 11, pp. 1-15.  
DOI: <https://doi.org/10.1017/nws.2013.2>.
- Bronk-Ramsey, C. (2009). "Bayesian Analysis of Radiocarbon Dates". *Radiocarbon*, 51 (1), pp. 337-360.  
DOI: <https://doi.org/10.1017/S0033822200033865>.
- Brughmans, T. (2010). "Connecting the dots: Towards archaeological network analysis". *Oxford Journal of Archaeology*, 29 (3), pp. 277-303.  
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0092.2010.00349.x>.
- Brughmans, T. (2013). "Thinking Through Networks: A Review of Formal Network Methods in Archaeology". *Journal of Archaeological Method and Theory*, 20 (4), pp. 623-662. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10816-012-9133-8>.
- Brughmans, T. y Peeples, M. A. (2018). "Network Science". En: López Varela, S. L. (Ed.). *The Encyclopedia of Archaeological Sciences*. Chichester / Oxford / Malden: John Wiley & Sons, Inc., pp. 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119188230.saseas0402>.
- Brughmans, T. y Peeples, M. A. (2023). *Network Science in Archaeology*. Cambridge: Cambridge University Press.  
DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009170659>.
- Brughmans, T. y Poblome, J. (2012). "Pots in space: Understanding Roman pottery distribution from confronting exploratory and Geographical network analyses". En: Barker, E., Bouzarovski, S., Pelling, C. y Isaksen, L. (Eds.). *New worlds out of old texts: Developing techniques for the spatial analysis of ancient narratives*. Oxford: Oxford University Press.
- Brughmans, T., Keay, S. y Earl, G. (2014). "Introducing exponential random graph models for visibility networks". *Journal of Archaeological Science*, 49, pp. 442-454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.05.027>.
- Brughmans, T., Mills, B. J., Munson, J. y Peeples, M. A. (2023). *The Oxford Handbook of Archaeological Network Research*. Oxford: Oxford University Press.

- Brughmans, T., y Laguna-Palma, D. (2023). "Una introducción a la investigación de redes en arqueología: ¿Qué es y por qué la necesitamos?". *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 33, pp. 11-32. DOI: <https://doi.org/10.30827/cpag.v33i0.27790>.
- Buchan, I. (2002). *Calculating the Gini coefficient of inequality* [R Commander].
- Buchanan, B., Hamilton, M. J. y David Kilby, J. (2019). "The small-world topology of Clovis lithic networks". *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11 (7), pp. 3537-3548. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12520-018-0767-7>.
- Buikstra, J. E. y Ubelaker, D. (1994). *Standards for data collection from human skeletal remains*. Fayetteville: Arkansas Archeological Survey Research Series, 44. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajhb.1310070519>.
- Burt, R. (1987). "Social contagion and innovation: Cohesion vs. Structural equivalence". *American Journal of Sociology*, 92 (6), pp. 1287-1335. DOI: <https://doi.org/10.1086/228667>.
- Caraglio, A. (2020). "How to redraw Bell Beaker networks in Southwestern Europe?". *Préhistoires Méditerranéennes*, 8. DOI: <https://doi.org/10.4000/pmm.2282>.
- Caraglio, A., Ríos, P. y Liesau, C. (2022). "A Bipartite Network Analysis of Bell Beaker Decoration Diversity in Camino de Las Yeseras (Madrid, Spain)". *The Bell Beaker Culture in All Its Forms: Proceedings of the 22<sup>nd</sup> Meeting of 'Archéologie et Gobelets' 2021* (Geneva, Switzerland). Bicester: Archaeopress Publishing Ltd, pp. 97-109.
- Carlson, R. O. (1965). *Adoption of educational innovations*. Eugene: University of Oregon. Center for Advanced Study of Educational Administration.
- Castany, J. (2008). *Els megàlits neolítics del "Solsonià"*. Tesis Doctoral. Universitat de Lleida. Disponible en: <https://www.tesisenred.net/handle/10803/8218?show=full>.
- Castro, P. V. (1994). *La Sociedad de los Campos de Urnas en el noreste de la Península Ibérica*. Ann Arbor: University of Michigan Press. DOI: <https://doi.org/10.30861/9780860547662>.
- Castro, P. V., Escoriza-Mateu, T., Fregeiro, M. I., Oltra, J. y Sanahuja-Yll, M. E. (2005). "Trabajo, producción y 'neolítico'" En: Arias, P., Ontañón, R. y García-Moncó, C. (Eds.). *Actas del III Congreso del Neolítico en la Península Ibérica*. Santander: Universidad de Cantabria, pp. 115-124.
- Cegelski, W. H. (2020). *Toward a Theory of Social Stability: Investigating Relationships among the Valencian Bronze Age Peoples of Mediterranean Iberia*. Tesis doctoral. Arizona State University. Disponible en: <https://www.proquest.com/openview/e6e49e770d51765e1e7e1785930c9eb0/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y>.
- Cintas-Peña, M. (2020). *La desigualdad de género en la prehistoria ibérica: Una aproximación multi-variable*. BAR International Series. Oxford: Archaeopress. DOI: <https://doi.org/10.30861/9781407356990>.
- Clarke, D. L. (1984). *Arqueología Analítica*. Barcelona: Ediciones Bellaterra.
- Clauset, A., Rohilla, C. y Newman, M. E. J. (2009). "Power-law distributions in empirical data". *SIAM Review*, 51 (4), pp. 661-703. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.0706.1062>.
- Clop, X. y Majó, T. (2017). "Prácticas funerarias y cronometría entre 3.500-1.500 cal. ANE en el noreste de la Península Ibérica". *Actas del Congreso Iber-Crono. Cronometrías para la Historia de la Península Ibérica*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, pp. 99-115.
- Collar, A., Coward, F., Brughmans, T. y Mills, B. J. (2015). "Networks in Archaeology: Phenomena, Abstraction, Representation". *Journal of Archaeological Method and Theory*, 22(1), pp. 1-32. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10816-014-9235-6>.
- Crabtree, S. A. (2015). "Inferring Ancestral Pueblo Social Networks from Simulation in the Central Mesa Verde". *Journal of Archaeological Method and Theory*, 22(1), pp. 144-181. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10816-014-9233-8>.
- Csardi, G. y Nepusz, T. (2006). "The igraph software package for complex network research". *InterJournal Complex Systems*, 1695. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7682609>.
- Cucart-Mora, C., Gómez-Puche, M., Romano, V., de Pablo, J. F. y Lozano, S. (2022). "Reconstructing Mesolithic social networks on the Iberian Peninsula using ornaments". *Archaeological and Anthropological Sciences*, 14, 174. DOI: <https://doi.org/10.31235/osf.io/yf6bj>.
- De Nooy, W., Mrvar, A. y Batagelj, V. (2005). *Exploratory Social Network Analysis with Pajek*. Cambridge: Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781108565691>.
- Díaz-Zorita, M., Subirà, M. E., Fontanals-Coll, M., Knudson, K. J., Alonzi, E., Bolhofner, K. .... y Gibaja, J. F. (2021). "Neolithic networking and mobility during the 5th and 4th millennia BC in north-eastern Iberia". *Journal of Archaeological Science*, 125, pp. 105272. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2020.105272>.
- Duboseq, S. (2017). *Caracterización de las relaciones sociales de las comunidades del Nord-este de la Península Ibérica entre la segunda mitad del V y la segunda mitad del IV milenio cal BC a partir del estudio de las prácticas funerarias*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. Disponible en: <https://ddd.uab.cat/record/186972>.
- Easley, D., y Kleinberg, J. (2011). *Networks, Crowds, and Markets. Reasoning About a Highly Connected World*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Epstein, J. M. (2008). "Why Model?". *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 11, pp. 4-12.
- Erdős, A. y Rényi, A. (1959). "On random graphs". *Publicationes Mathematicae Debrecen*, 6, pp. 290-297.
- Erdős, A. y Rényi, P. (1960). "On the evolution of random graphs". *Publication of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences*, 5, pp. 17-61.
- Estévez, J. y Lull, V. (1984). "Propuesta metodológica para el estudio de las necrópolis argáricas". *Homenaje a Luis Siret (1934-1984)*. Sevilla: Consejería de Cultura Junta de Andalucía, pp. 441-452.
- Everett, M. G. y Borgatti, S. P. (2005). "Extending Centrality". En: Carrington, P. J., Scott, J. y Wasserman, S. (Eds.). *Models and Methods in Social Network Analysis*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 57-76. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811395.004>.
- Faust, K. (2002). "Las redes sociales en las ciencias sociales y del comportamiento". En: Gil, J. y Schmidt, S. (Eds.). *Análisis de redes sociales. Aplicaciones en ciencias sociales*. México: Instituto de Matemáticas Aplicadas y Sistemas, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Figuls, A. y Weller, O. (2012). "Assaig sobre la xarxa d'intercanvis de recursos naturals, béns semielaborats i béns acabats en roques metamòrfiques i ígnies al "Solsonià"". En: Borrell, F., Bosch, J., Clop, X. y Molist, M. (Eds.). *Congrés Internacional Xarxes al Neolític. Circulació i intercanvi de matèries, productes i idees a la Mediterrània occidental (VII-III mil·lenni aC)*. Rubricatum, 5, pp. 223-231.
- Fontanals-Coll, M., Subirà, M. E., Díaz-Zorita, M., Duboseq, S. y Gibaja, J. F. (2015). "Investigating palaeodietary and social differences between two differentiated sectors of a Neolithic community, La Bòbila Madurell-Can Gambús (north-east Iberian Peninsula)". *Journal of Archaeological Science: Reports*, 3, pp. 160-170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2015.06.013>.
- Fortó, A. y Vidal, A. (2016). *Comunitats agrícoles al Pirineu. L'ocupació humana a Juberri durant la segona meitat del Vè mil·lenni cal AC (Feixa del Moro, Camp del Colomer i Carrer Llinàs 28, Andorra)*. Andorra la Vella: Govern d'Andorra Ministeri de Cultura, Joventut i Esports Departament de Patrimoni Cultural.
- Freeman, L. C. (1977). "A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness". *Sociometry*, 40(1), p. 35. DOI: <https://doi.org/10.2307/3033543>.

- Freeman, L. C. (1979). "Centrality in social networks conceptual clarification". *Social Networks*, 1 (3), pp. 215-239. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](https://doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7).
- Freeman, L. C. (2004). *The development of social network analysis*. New York: Empirical Press.
- Freeman, L. C. (2005). "Graphic techniques for exploring social network data". En: Carrington, P. K., Scott, J. y Wasserman, S. (Eds.). *Models and methods in social network analysis*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 248-268.
- Gibaja, J. F. (2003). *Comunidades neolíticas del noreste de la Península Ibérica. Una aproximación socio-económica a través del estudio de la función de los útiles líticos*. BAR International Series 1140. Oxford: Archaeopress.
- Gibaja, J. F. (2004). "Prácticas funerarias durante el neolítico en Cataluña. Los enterramientos en la Península Ibérica durante la Prehistoria Reciente". *Mainake*, 26, pp. 9-27.
- Gibaja, J. F. y Terradas, X. (2012). "Tools for Production, Goods for Reproduction. The Function of Knapped Stone Tools at the Neolithic Necropolis of Can Gambús-1 (Sabadell, Spain)". *Comptes Rendus Palevol*, 11, pp. 463-472. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2012.05.002>.
- Gibaja, J. F., Morell, B., Barceló, J. A., Duboscq, S., Masclans, A., Remolins, G,... y Subirà, M. E. (2017). "The Chronology of the Neolithic Necropolis Bòbila Madurell-Can Gambús in the Northeast Iberian Peninsula: Dating the Pit Burials Cultural Horizon and Long-Range Raw Material Exchange Networks". *Radiocarbon*, 59 (6). DOI: <https://doi.org/10.1017/RDC.2017.131>.
- Gillespie, C. S. (2015). "Fitting heavy tailed distributions: The powerRlaw package". *Journal of Statistics and Software*, 64, pp. 1-16. DOI: <https://doi.org/10.18637/jss.v064.i02>.
- Giomi, E. y Peeples, M. A. (2019). "Network analysis of intrasite material networks and ritual practice at Pueblo Bonito". *Journal of Anthropological Archaeology*, 53, pp. 22-31. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaa.2018.10.002>.
- Gjesfjeld, E. y Phillips, S. C. (2013). "Evaluating adaptive network strategies with geochemical sourcing data: A case study from the Kuril Islands". En: Knappett, C. y Rivers, R. (Eds.). *New approaches in regional network analysis*. Oxford: Oxford University Press. DOI: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199697090.003.0012>.
- Godsil, C. y Royle, G. (2001). *Algebraic Graph Theory*, 207. New York: Springer. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0163-9>.
- González, C. (2004). *Las Nuevas Ciencias y las Ciencias Sociales*. Manizales: Anthropos-Instituto de Investigaciones Sociales.
- Guilaine, J. (1974). *La Balma de Montbolo et le néolithique de l'Occident méditerranéen*. Toulouse: Institut Pyrénén d'études anthropologiques.
- Habiba, Athenstädt, J. C., Mills, B. J. y Brandes, U. (2018). "Social networks and similarity of site assemblages". *Journal of Archaeological Science*, 92, pp. 63-72. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2017.11.002>.
- Harary, F., Norman, R. Z. y Cartwright, D. (1965). *Structure Models: An Introduction to the Theory of Directed Graphs*. New York: Wiley.
- Isaksen, L. (2008). "The application of network analysis to ancient transport geography: A case study of Roman Baetica". *Digital Medievalist*, 4. DOI: <https://doi.org/10.16995/dm.20>.
- Jiménez-Puerto, J. (2021). "NODE TURNOVER RATIO (NTR) Calculator (2.0)2". Zenodo. [Software]. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6323259>
- Jiménez-Puerto, J. (2022a). *Conectando con el pasado. Redes sociales en la prehistoria reciente*. Tesis doctoral. Universidad de Valencia. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10550/82987>.
- Jiménez-Puerto, J. (2022b). *CHRONARCH-Atribución a ventanas temporales de dataciones por C14 1.00* [Software]. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7375584>.
- Jiménez-Puerto, J. (2024a). "Beyond the naked eye: Employing machine learning and computer vision to explore Iberian oculated idols decorative patterns". *Journal of Archaeological Science Reports*, 55, 104521. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2024.104521>.
- Jiménez-Puerto, J. (2024b). "Connecting arrowheads: Differential transmission of information at the dawn of the Bronze Age". *Journal of Lithic Studies*, 10 (2), 23. DOI: <https://doi.org/10.2218/jls.7256>.
- Jiménez-Puerto, J. y Bernabeu-Aubán, J. (2023). "Linking up Bell Beakers in the Iberian Peninsula". *Journal of Archaeological Method and Theory*, 30, pp. 1200-1232. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10816-023-09625-6>.
- Kadushin, Ch. (2013). *Comprender las redes sociales. Teorías, conceptos y hallazgos*. Madrid: Centro de Investigaciones Sociológicas.
- Kandler, A. y Caccioli, F. (2016). "Networks, Homophily, and the Spread of Innovation". En: Brughmans, T., Collar, A. y Coward, F. (Eds.). *The Connected Past. Challenges to Network Studies in Archaeology and History*. Oxford: Oxford University Press, pp. 175-198. DOI: <https://doi.org/10.1093/9780198748519.003.0016>.
- Kintigh, K. (2006). "The Promise and Challenge of Archaeological Data Integration". *American Antiquity*, 71 (3), pp. 567-578. DOI: <https://doi.org/10.2307/40035365>.
- Knappett, C. (2011). *An archaeology of interaction: Network perspectives on material culture and society*. Oxford: Oxford University Press. DOI: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199215454.001.0001>.
- Knappett, C. (Ed.) (2013). *Network Analysis in Archaeology: New Approaches to Regional Interaction*. Oxford: Oxford University Press. DOI: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199697090.001.0001>.
- Knappett, C., Evans, T. y Rivers, R. (2008). "Modelling maritime interaction in the Aegean Bronze Age". *Antiquity*, 82 (318), pp. 1009-1024. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0003598X0009774X>.
- Lozano, S., Ganguly, N., Deutsch, A. y Mukherjee, A. (2009). "Dynamics of Social Complex Networks: Some Insights into Recent Research". En: Bellomo, N. y Tezduyar, T. E. (Eds.). *Dynamics On and Of Complex Networks: Applications to Biology, Computer Science, and the Social Sciences (Modeling and Simulation in Science, Engineering and Technology)*. Berlin: Springer Science, pp. 133-143.
- Lull, V. (1988). "Per una definició materialista de l'Arqueologia". *Corrents Teòrics en Arqueologia*, 14, pp. 9-20.
- Lull, V. y Picazo, M. (1989). "Arqueología de la muerte y estructura social". *Archivo Español de Arqueología*, 62, pp. 5-20.
- Marin, A. y Wellman, B. (2011). "Social Network Analysis: An Introduction". En: Scott, J. y Carrington, P. J. (Eds.). *The Sage Handbook of Social Network Analysis*. Thousand Oaks: Sage Publications, pp. 11-25.
- Martín, A., Pou, R., Oms, X., Mestres, J., Martí, M., Esteve, X... y Gibaja, J. F. (2016). "La question de l'homogénéité des pratiques funéraires dans la 'Culture des Sepulcres de Fossa' du Néolithique moyen. Révision des typologies à la lumière des dernières découvertes". En: Perrin, P., Gibaja, J. F. y Goude, G. (Eds.). *Le Chasséen, des Chasséens: Retour sur une culture nationale et ses parallèles, sepulcres de fossa. Actes du colloque international tenu à Paris (France) du 18 au 20 novembre 2014*. Toulouse: Archives d'écologie préhistorique, pp. 407-420.
- Masclans, A. (2019). "Los artefactos pulidos y biselados en las comunidades del Horizonte de los Sepulcros de Fosa en el noreste de la península ibérica a través del estudio petrológico, funcional y tecnológico". *Trabajos de Prehistoria*, 761, pp. 48-66. DOI: <https://doi.org/10.3989/tp.2019.12225>.
- Mazzucato, C. (2019). "Socio-Material Archaeological Networks at Çatalhöyük a Community Detection Approach". *Frontiers in Digital Humanities*, 6, 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fdigh.2019.00008>.
- Milgram, S. (1992). *The individual in a social world: Essays and experiments*. New York: McGraw-Hill.

- Mills, B. J., Clark, J. J., Peebles, M. A., Haas, W. R., Roberts, J. M., Hill, J. B... y Shackley, M. S. (2013). "Transformation of social networks in the late pre-Hispanic US Southwest". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(15), 15. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1219966110>.
- Mills, B. J., Peebles, M. A., Haas, W. R., Borck, L., Clark, J. J. y Roberts, J. M. (2015). "Multiscalar Perspectives on Social Networks in the Late Prehispanic Southwest". *American Antiquity*, 80(1), pp. 3-24. DOI: <https://doi.org/10.7183/0002-7316.79.4.3>.
- Molina-Balaguer, L., Escribá-Ruiz, P., Jiménez-Puerto, J. y Bernabeu-Aubán, J. (2023). "Sequence and context for the Cocina cave neolithic pottery: An approach from social networks analysis". *Quaternary International*, 677-678, pp. 65-77. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2023.05.006>.
- Molist, M., Gómez, A., Borrell, F., Ríos, P. y Bosch, J. (2016). "El 'Chassense' y los 'Sepulcres de Fossa de Cataluña': Relaciones complejas entre culturas arqueológicas vecinas". En: Perrin, T., Gibaja, J. F. y Goude G. (Eds.). *Le Chasséen, des Chasséens: Retour sur une culture nationale et ses parallèles, sepulcres de fossa. Actes du colloque international tenu à Paris (France) du 18 au 20 novembre 2014*. Toulouse: Archives d'éologie préhistorique, pp. 143-158.
- Monforte-Barberán, A. (2023). *Dinámicas y relaciones sociales de las primeras sociedades agropecuarias del noreste de la península ibérica. Estudio de los contenedores y contenidos funerarios mediante el Análisis de Redes Sociales*. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10803/689960>.
- Morell, B., Barceló, J. A., Oms, F. X., Remolins, G., Subirà, M. E., Chambon, P. y Gibaja, J. F. (2018). "Tracing the chronology of neolithic pit and stone box burials in North-eastern Iberia". *Journal of Archaeological Science: Reports*, 19, pp. 491-504. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.03.024>.
- Moreno, J. L. (1960). *The sociometry reader*. Los Angeles: The Free Press.
- Moreno-Navarro, F., Brughmans, T. y Bermejo, J. (2023). "Exploring economic integration of peasant settlements in Roman Central Spain (1st c. - 3rd c. AD)". *Journal of Archaeological Science: Reports*, 51, 104106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2023.104106>.
- Munson, J. L. y Macri, M. J. (2009). "Sociopolitical network interactions: A case study of the Classic Maya". *Journal of Anthropological Archaeology*, 28 (4), pp. 424-438. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaa.2009.08.002>.
- Muñoz, A. (1997). "La cultura de los sepulcros de fosa: Una sociedad neolítica". *Espacio, Tiempo y Forma. Serie I, Prehistoria y Arqueología*, 10, pp. 265-278. DOI: <https://doi.org/10.5944/etfl.10.1997.4657>.
- Newman, M. E. J. (2001). "Scientific collaboration networks. I. Network construction and fundamental results". *Physical Review E*, 64(1), 016131. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.64.016131>.
- Newman, M. E. J. (2006). "Modularity and community structure in networks". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103 (23), pp. 8577-8582. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0601602103>
- Newman, M. E. J. (2010). *Networks: An introduction*. Oxford: Oxford University Press.
- Newman, M. E. J. y Girvan, M. (2004). "Finding and evaluating community structure in networks". *Physical Review E*, 69(2). DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.69.026113>.
- Newman, M. E. J. y Park, J. (2003). "Why social networks are different from other types of networks". *Physical Review E*, 68 (3), 036122. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.68.036122>.
- Newman, M. E. J., Watts, D. J. y Strogatz, S. H. (2002). "Random graph models of social networks". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99 (suppl 1), pp. 2566-2572. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.012582999>.
- Oms, F. X., Martín, A., Esteve, X., Mestre, J., Morell, B., Subirà, M. E. y Gibaja, J. F. (2016). "The Neolithic in North-East Iberia: Chronocultural phases and C14". *Radiocarbon*, 58, pp. 1-19. DOI: <https://doi.org/10.1017/RDC.2015.14>.
- Östborn, P. y Gerding, H. (2015). "The Diffusion of Fired Bricks in Hellenistic Europe: A Similarity Network Analysis". *Journal of Archaeological Method and Theory*, 22(1), pp. 306-344. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10816-014-9229-4>.
- Palacios, O. (2023). "Aplicación del aprendizaje automático en Arqueología: ¿Un cambio de paradigma?". *Vegueta: Anuario de la Facultad de Geografía e Historia*, 23, 1, pp. 147-186. DOI: <https://doi.org/10.51349/veg.2023.1.06>.
- Palacios, O., Barceló, J. A. y Delgado, R. (2022). "Exploring the role of ecology and social organisation in agropastoral societies: A Bayesian network approach". *PLoS One*, 17(10), e0276088. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276088>.
- Pétrequin, P., Cassen, S. M., Gauthier, E., Klassen, L., Pailler, Y. y Sheridan, A. (2012). "Typologie, chronologie et répartition des haches alpines en Europe occidentale". En: Pétrequin, P., Cassen, S. M., Errera, M., Klassen, L., Sheridan, A. y Pétrequin, A. M. (Eds.). *Grandes haches alpines du Néolithique européen. Ve et IVe millénaires av. J.-C. Cahiers de la MSHE C.N. Ledoux*: Presses Universitaires de France-Comté, pp. 574-727.
- Prell, C. (2012). *Social Network Analysis. History, Theory y Methodology*. Thousand Oaks: Sage Publications.
- R Core Team. (2023). *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.
- Ripoll, E. y Llongueras, M. (1963). *La cultura neolítica de los sepulcros de fosa en Cataluña*. Publicaciones eventuales, 9. Barcelona: Instituto de Prehistoria y Arqueología.
- Rodríguez-Rellán, C. (Ed.). (2023). "Un pasado interconectado: nuevas aproximaciones a la circulación de personas, objetos y materias primas a lo largo de la historia". *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 33. DOI: <https://doi.org/10.30827/cpag.v33i0.29477>.
- Roig, J., Coll, J. M., Gibaja, J. F., Chambon, P., Villar, V., Ruiz, J., Terradas, X. y Subirà, M. E. (2010). "La necrópolis de Can Gambús-1 (Sabadell, Barcelona). Nuevos conocimientos sobre las prácticas funerarias durante el Neolítico medio en el Noreste de la Península Ibérica". *Trabajos de Prehistoria*, 67 (1), pp. 59-84. DOI: <https://doi.org/10.3989/tp.2010.10031>.
- Romanó, V., Lozano, S. y Fernández-López, J. (2022). "Reconstructing social networks of Late Glacial and Holocene hunter-gatherers to understand cultural evolution". *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 377, 20200318. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2020.0318>.
- Ruffini, G. R. (2008). *Social networks in Byzantine Egypt*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sabidussi, G. (1966). "The centrality index of a graph". *Psychometrika*, 31, pp. 581-603. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02289527>.
- Sanahuja-Yll, M. E. (2002). *Cuerpos sexuados, Objetos y Prehistoria*. Colección Feminismos. Barcelona: Cátedra.
- Scholnick, J. B., Munson, J. L. y Macri, M. J. (2013). "Positioning power in a multirelational framework: Social network analysis of Classic Maya political rhetoric". En: Knappett, C. y Rivers, R. (Eds.). *New approaches in regional network analysis*. Oxford: Oxford University Press. DOI: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199697090.003.0005>.
- Sindbæk, S. M. (2007). "The Small World of the Vikings: Networks in Early Medieval Communication and Exchange". *Norwegian Archaeological Review*, 40(1), pp. 59-74. DOI: <https://doi.org/10.1080/00293650701327619>.
- Sosna, D., Galeta, P., Šmejda, L., Sládek, V. y Bruzek, J. (2013). "Burials and Graphs: Relational Approach to Mortuary Analysis". *Social Science Computer Review*, 31(1), pp. 56-70. DOI: <https://doi.org/10.1177/0894439312453277>.

- Swantek, L. A. (2017). *A Change Is Going to Come: A Complex Systems Approach to the Emergence of Social Complexity on Cyprus*. Tesis doctoral. Arizona State University. Disponible en: <https://keep.lib.asu.edu/items/156086>.
- Terradas, X., Gratuze, B., Bosch, J., Enrich, R., Esteve, X., Oms, F. X. y Ribé, G. (2014). "Neolithic diffusion of obsidian in the western Mediterranean: New data from Iberia". *Journal of Archaeological Science*, 41, pp. 69-78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.07.023>.
- Ward, G. K. y Wilson, S. R. (1978). "Procedures for comparing and combining radiocarbon age determinations: A critique". *Archaeometry*, 20 (1), pp. 19-31. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1978.tb00208.x>.
- Wasserman, S. y Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications*. Cambridge: Cambridge University Press.  
DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511815478>.
- Watts, D. J. (2003). *Six degrees: The science of a connected age*. New York: Vintage.
- Watts, D. J., Dodds, P. S. y Newman, M. E. J. (2002). "Identity and Search in Social Networks". *Science*, 296 (5571), pp. 1302-1305.  
DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1070120>.
- Watts, D. J. y Strogatz, S. H. (1998). "Collective dynamics of 'small-world' networks". *Nature*, 393, pp. 440-442.  
DOI: <https://doi.org/10.1038/30918>.
- Weller, O. y Figuls, A. (2012). "Los intercambios a medo y larga distancia y el rol de la sal en el Neolítico medio en el altiplano y Prepirineo central catalán". En: Borrell, F., Bosch, J., Clop, X. y Molist, M. (Eds.). *Congrés Internacional Xarxes al Neolític. Circulació i intercanvi de matèries, productes i idees a la Mediterrània occidental (VII-III mil·lenni aC)*. Rubricatum, 5, pp. 201-211.