

2

SIG y conocimiento histórico

Mapas de distribución, estadística espacial y organización de la producción en arqueología: las armas de bronce de los guerreros de terracota de Xi'an, China

*Distribution maps, spatial statistics and the archaeology of craft organisation:
the bronze weapons of the Terracotta Army (Xi'an, China)*

MARCOS MARTINÓN-TORRES¹

ANDREW BEVAN¹

XIUZHEN JANICE LI^{1,2}

¹ UCL Institute of Archaeology, 31-34 Gordon Square, London WC1H 0PY, United Kingdom

² Emperor Qin Shihuang's Mausoleum Site Museum, Lintong, Xi'an, 710600, China

RESUMEN

Los creación de mapas de distribución de artefactos es una de las aplicaciones más comunes de sistemas de información geográfica (SIG) en arqueología. Estos mapas se emplean con frecuencia como punto de partida para investigar los procesos antrópicos o condicionantes naturales que puede haber detrás de las distribuciones de puntos. En muchos casos, el análisis de estas distribuciones se hace de manera intuitiva, y sin explotar todo el potencial que la computación y la estadística ofrecen para validar nuestras observaciones, o incluso para alertarnos de otros patrones que no son fáciles de observar a ojo.

En este artículo presentamos un caso de estudio que ilustra la aplicación de análisis multiescalares, simulaciones de Montecarlo y estadística espacial a la distribución de las armas de bronce asociadas a los guerreros de terracota en el Mausoleo del primer emperador de China, construido en el siglo III a. C. En un primer examen, la distribución de armas y guerreros nos informa de las estrategias de organización militar en el período Qin, al tiempo que nos permite intuir una serie de procesos posteposicionales. Cuando combinamos el análisis morfométrico de las armas con un estudio espacial que considera los efectos de primer orden y funciones de correlación entre pares, es posible descubrir los efectos indirectos, no intencionales, de patrones de actuación humana. A partir de ellos podemos reconstruir aspectos de la logística de las labores productivas, tales como la organización de la manufactura de las armas y su ubicación en la fosa de los guerreros durante el proceso de construcción del mausoleo.

Palabras clave: SIG, arqueología, China, estadística espacial, función de correlación de pares, simulación de Montecarlo.

ABSTRACT

The creation of artefact distribution maps is one of the most common applications of geographic information systems (GIS) in archaeology. These maps are often used as a starting point to investigate the anthropic processes or natural constraints that may lie behind the point distributions. In many cases, the analysis of these point patterns is carried out intuitively, without exploiting the full potential that computation and statistics offer to validate our observations, or even to alert us to the existence of other patterns that may not be readily observable.

In this paper we present a case study that illustrates the application of multiscale analyses, Monte Carlo simulations and spatial statistics to the distribution of the bronze weapons associated to the terracotta warriors at the First Emperor's Mausoleum in China, built in the 3rd century BC. In a first approach, the distribution of weapons and warriors is informative of military organisation strategies in the Qin period, while it also allows us to reveal the effects of some post-depositional processes. When we combine morphometric analyses of the weapons with a spatial analysis that considers first order effects and point correlation functions, we can reveal indirect, unintentional effects of patterns of human behaviour. From these, we can infer aspects of the logistics of production, such as the organisation of the weapons' manufacture, and of their placement in the warriors' pit, during the construction of the mausoleum.

Keywords: GIS, archaeology, China, spatial statistics, pair correlation function, Monte Carlo simulation.

INTRODUCCIÓN

El empleo de mapas de distribución espacial tiene un gran arraigo en la arqueología. Este tipo de mapas permite ilustrar y analizar variables a cualquier escala: desde la abundancia y distribución de diferentes tipos de minerales en una lámina delgada de cerámica bajo el microscopio, pasando por los patrones espaciales de los residuos de talla lítica en un yacimiento, o hasta la ubicación de monumentos megalíticos u otro tipo de yacimientos en una región geográfica. La incorporación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en arqueología en las últimas dos o tres décadas ha facilitado enormemente la elaboración de este tipo de mapas, además de proporcionar algunas herramientas para el análisis de los datos y la identificación de patrones que puedan después relacionarse con otros factores naturales o culturales. No obstante, aun con notables excepciones sobre todo en análisis de visibilidad, movimiento o captación de recursos (p. ej. García Sanjuán et al. 2009), muchos estudios de análisis espacial utilizan SIG únicamente para ubicar puntos o formas geométricas en un mapa: el análisis de los datos se hace de forma cualitativa o intuitiva, mediante la observación detenida de esos mapas. Aun cuando este tipo de aproximaciones pueden ser suficientes en algunos casos, avances en computación y estadística espacial ofrecen oportunidades para validar nuestras observaciones, así como para alertarnos de otros patrones que pueden no ser fáciles de observar a ojo.

En este artículo presentamos un caso de estudio que ilustra la aplicación de análisis multiescales, simulaciones de Monte Carlo y estadística espacial a la distribución de las

armas de bronce asociadas a los guerreros de terracota en el mausoleo del primer emperador de China, construido en el siglo III a. C. En un primer examen, la distribución de armas y guerreros nos informa de las estrategias de organización militar en el período Qin, al tiempo que nos permite intuir una serie de procesos posteposicionales. Cuando combinamos el análisis morfométrico de las armas con un estudio espacial que considera los efectos de primer orden y funciones de correlación entre pares, es posible descubrir los efectos indirectos, no intencionales, de patrones de actuación humana. A partir de ellos podemos reconstruir aspectos de la logística de las labores productivas, tales como la organización de la manufactura de las armas y su ubicación en la fosa de los guerreros durante el proceso de construcción del mausoleo.

EL EJÉRCITO DE TERRACOTA: ORGANIZACIÓN MILITAR

Qin Shihuang (259-210 a.C.) es uno de los personajes más famosos y controvertidos de la historia de China. Conocido mundialmente como “el primer emperador de China”, entre sus gestas se encuentra el haber unificado China con implacable fuerza y por primera vez, pero también sus campañas de persecución de intelectuales y oponentes, la abolición del feudalismo, la estandarización de sistemas filosóficos y legales, de escritura, de pesos y medidas... e incluso la primigenia construcción de lo que muchos siglos después sería la Gran Muralla China. El enorme mausoleo que ordenó construir para sí mismo en la capital Xi'an permanece en el imaginario popular como una inigualable representación material de su mundo, pero también como una fuente inagotable de información acerca del poderoso sistema político y simbólico que orquestó en torno a su persona. En la actualidad, el mausoleo es reconocido por la Unesco como Patrimonio de la Humanidad, y atrae más de cuatro millones de visitantes cada año, además de contribuir a un sinnúmero de exposiciones temporales por todo el mundo (Shaanxi Institute 1988; Portal 2007; Duan 2011; Yuan 2014).

El enorme complejo funerario ocupa una superficie superior a los 50km² (Figura 1). El paisaje está dominado por el colosal túmulo central, de unos 80m de altura, bajo el cual se supone que se encuentra la tumba del emperador. En torno a él se han ido documentando y parcialmente excavando una serie de fosas que contienen una gran variedad de estructuras y restos materiales que crearon una auténtica ciudad funeraria para el emperador. Entre otros descubrimientos destacados están las fosas con sirvientes, acróbatas y músicos de cerámica; canales de agua con aves acuáticas de bronce; carros de bronce policromado con decoraciones de oro y plata... y muchos otros hallazgos. Los guerreros de terracota son, sin duda, los elementos más famosos de este complejo funerario. Distribuidos en tres fosas en el extremo oriental del mausoleo, se supone que habrían sido ubicados allí para proteger al emperador durante su vida del más allá. En la mayor de estas fosas, conocida como Fosa 1 (y en la que se centra este artículo), se han excavado ya más de 1000 guerreros en formación de batalla, además de ocho carros de guerra tirados por caballos. Se estima que esta fosa

puede contener un total de 7000 guerreros, incluyendo arqueros, aurigas, oficiales y otros rangos (Figura 2). Además, se han excavado también centenares de armas y decenas de miles de puntas de flecha de bronce, con las que se equipó a los guerreros.

El proyecto *Imperial Logistics: The Making of the Terracotta Army* es fruto de un acuerdo de colaboración entre el UCL Institute of Archaeology y el Museo del Mausoleo de Qin Shihuang en Xi'an. Uno de sus principales objetivos es caracterizar la organización logística que permitió la construcción del mausoleo, prestando particular atención a la organización de la producción en masa, procesos de estandarización y control de calidad. En este sentido, es importante destacar que al mausoleo habría sido construido en un arco cronológico máximo de cuatro décadas, posiblemente mucho menos. Dado que no se han encontrado restos de talleres, nuestro trabajo ha tenido que desarrollar y adaptar métodos de ingeniería inversa para reconstruir procesos de manufactura a partir del análisis de objetos acabados y su distribución espacial. Una de las áreas de trabajo más productivas es el estudio métrico, microscópico y químico de las armas, combinado con análisis de estadística espacial (Li et al. 2011; 2014; Li 2012; Martínón-Torres et al. 2011; 2014; Bevan et al. 2013; 2014)

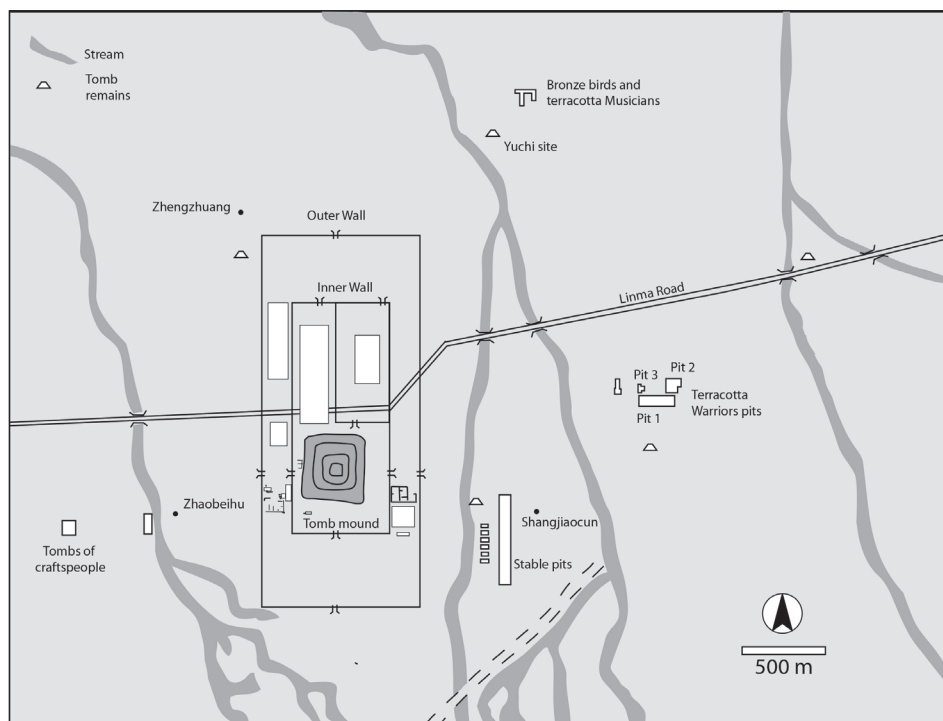


Figura 1. Mapa del Mausoleo del Primer Emperador en Lintong, Xi'an, mostrando la ubicación de algunas de las principales estructuras.



Figura 2. Imagen de algunos de los cientos de guerreros de terracota en formación de batalla excavados en la Fosa 1. Foto Xia Juxian.

La parte frontal de la Fosa 1 del Ejército de Terracota es el área con una mayor superficie excavada, y ofrece por tanto un excelente caso de estudio, ya que incluye decenas de miles de objetos con una buena documentación espacial. Las Figuras 3 y 4 muestran planos de esta zona señalando, respectivamente, la ubicación de diferentes tipos de guerreros (clasificados según su indumentaria) y la de los distintos tipos de armas recuperadas durante las excavaciones.

Una primera aproximación visual a estas imágenes permite obtener con facilidad una impresión de la organización interna del ejército, lo cual puede ser de interés para explicar las estrategias que habrían facilitado el éxito militar de Qin (aunque no podemos olvidar el riesgo que entraña asumir que esta construcción funeraria represente una representación realista de un ejército Qin) (sobre este tema, véase Yuan y Qin 1975; Wang 1980, 1983, 1990; Yuan 1990, 2002; Yates 2007). Por ejemplo, en la Figura 3 puede apreciarse que los soldados con togas aparecen fundamentalmente en las primeras líneas, seguidos por los mucho más numerosos soldados que portan armaduras. Parejas de aurigas aparecen a intervalos regulares, en los lugares donde se encontraron carros de combate. Otros rangos específicos tienen ubicaciones más concretas, como los generales y los oficiales. En cuanto a la Figura 4, esta muestra una mayor concentración de atillos de flechas y gatillos de alabardas en el frente y en los francos laterales con algunos arqueros adicionales asociados a los carros, mientras que armas de otros tipos aparecen más concentradas hacia el núcleo de la formación de batalla, generalmente (aunque no exclusivamente) asociadas a guerreros con armaduras.

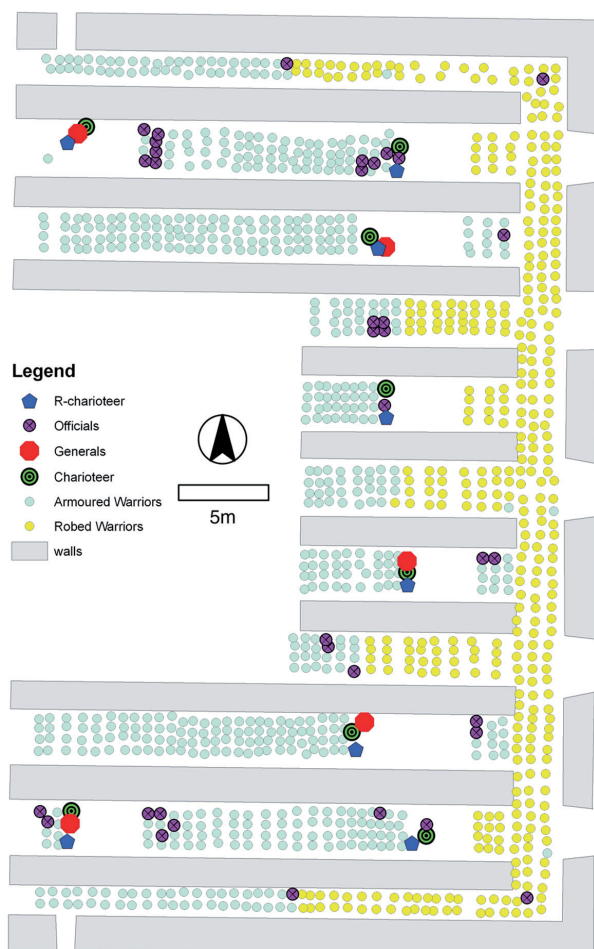


Figura 3. Distribución de los guerreros en la zona excavada de la Fosa 1, clasificados según su rango e indumentaria.

REGATONES, LANZAS Y PROCESOS POSTDEPOSICIONALES

Una observación más detallada del mapa de distribución de armas (o partes de ellas) nos permite también intuir la posible interferencia de procesos postdeposicionales en la preservación del registro arqueológico. El mapa en la Figura 4 muestra una relativa abundancia de regatones (dun) distribuidos de forma más o menos uniforme. Estas piezas con forma de casquillo constituyen los remates que se encajarían en los extremos distales de los mangos o astas de armas más largas, tales como lanzas y alabardas (Figura 5). En la mayor parte de los casos, estas astas, originalmente de madera, no se han preservado, pero en todo caso cabe suponer que a cada regatón le habría correspondido un arma. No obstante, es inmediatamente obvio que el número de regatones es superior al de las puntas de lanza y alabardas.



Figura 4. Distribución de los diferentes tipos de armas en la zona excavada de la Fosa 1, identificadas a partir de los restos metálicos recuperados en la excavación.

La Figura 6 ilustra este fenómeno con más detalle, centrándose exclusivamente en un subtipo de regatones que sabemos, basándonos en ejemplos conservados, que correspondería a las puntas de lanza pesadas. Como cabría esperar, es inmediatamente obvio que la distribución espacial de puntas de lanza es aproximadamente la misma que la de los regatones tipo III, pero que estos últimos son mucho más abundantes: en concreto, 50 regatones para tan solo 17 lanzas. Podemos ofrecer dos hipótesis para explicar esta contradicción, que no son mutuamente excluyentes. Por una parte, sabemos que la fosa de los guerreros fue parcialmente saqueada en el período Han (Yuan 1990), y quizás la ausencia de las 33 lanzas se deba a esta rapiña. Por otra, quizás algunas de las puntas de lanza fueron recuperadas durante labores de agricultura realizadas en los siglos siguientes a la construcción del mausoleo, posiblemente en épocas más recientes. Basándonos en la longitud de una lanza conservada íntegramente, y que tiene una longitud superior a 2m,

se hace evidente que los extremos superiores de las lanzas estarían mucho más cerca de la superficie que los regatones, lo cual habría facilitado su hallazgo en épocas posteriores. Sea cual sea la explicación, la observación cualitativa de los mapas de distribución es suficiente para alertarnos de esos patrones, y nos proporciona pistas para entender en qué zonas del yacimiento cabe esperar un registro arqueológico menos alterado por procesos postdeposicionales.

GATILLOS Y ORGANIZACIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Nuestro estudio de la organización de la producción de las armas se ha centrado, en primera instancia, en la identificación de variación estructurada en la morfología y composición de los diferentes objetos. En otras palabras, bajo la impresión inicial de estandarización que predomina, hemos tratado de identificar subgrupos dentro de cada tipología, que puedan corresponder a remesas de metal específicas, moldes de vaciado o unidades de producción. El paso siguiente es el estudio de la distribución espacial de estos subgrupos, tratando de obtener información acerca de los procesos que estructuraron el movimiento de las armas desde talleres o arsenales a la fosa donde los encontramos hoy (Li 2012; Bevan et al. 2013; Li et al. 2014).

Por ejemplo, el estudio de la composición química de centenares de puntas de flecha nos permitió inferir que cada haz de 100 unidades (correspondiente al contenido de un carcaj) era el resultado de una única remesa de metal (probablemente el contenido de un solo crisol), sin que se documentasen apenas mezclas entre distintas remesas. A partir de ahí pudimos sugerir que las decenas de miles de flechas recuperadas en el yacimiento, a pesar de ser visualmente idénticas, fueron producidas en varias células de producción relativamente autónomas, y no en una única línea de producción subdividida en unidades especializadas (Martínón-Torres et al. 2014).

De mayor relevancia para este artículo es el estudio de los gatillos de bronce de las alabardas, que son la única parte de estas armas manufacturada en metal, y por tanto la única que se conserva sistemáticamente. Cada uno de los más de 200 gatillos está compuesto de tres partes independientes, unidas mediante dos tornillos (Williams 2008; Figura 7). A primera vista, estos gatillos son todos idénticos. No obstante, en este caso, fue el estudio métrico y microtipológico de diferencias mínimas pero significativas, que nos permitió identificar subgrupos dentro de cada una de esas partes, cada uno de ellas correspondiente a un molde diferente, y quizás a una célula de producción independiente. Esos subgrupos de partes aparecen en un número limitado de combinaciones recurrentes, que podríamos denominar «grupos de ensamblaje» (Li 2012; Li et al. 2014). Habiendo verificado este punto, nuestro interés retornó al análisis espacial, de cara a evaluar si existían patrones en la distribución espacial de estas combinaciones o grupos de ensamblaje.



Figura 5. Ejemplos de la tipología de los más de 100 regatones que estarían asociados a las armas. Nótese la inscripción *Sigong* en el regatón de la derecha, que alude al taller gubernamental.

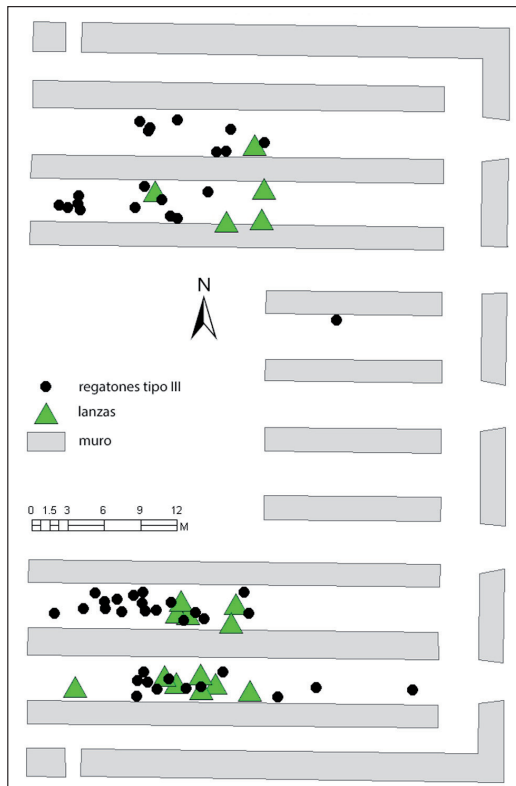


Figura 6. Distribución de los regatones tipo III y las lanzas asociadas a ellas. Nótese la correspondencia espacial entre ambos tipos de objetos, pero el contraste en su número.



Figura 7. Ejemplo de uno de los más de 200 gatillos de alabarda recuperados con el ejército de terracota. Nótese la presencia de inscripciones que podrían haber servido para guiar el ensamblaje entre las varias partes.

Después de su manufactura y ensamblaje, es posible que cada remesa de gatillos hubiese sido guardada en un almacén o arsenal por un tiempo indeterminado, antes de llegar al mausoleo. No obstante, también es posible que hubiesen sido entregadas directamente, sin ningún almacenaje previo. Cualquiera que sea el caso, su distribución espacial en la fosa de los guerreros puede informarnos acerca de la organización del trabajo en el taller o almacén. Por ejemplo, si los miembros de cada subgrupo muestran una distribución regular (es decir, con espacios uniformes entre ellos), este patrón podría sugerir una forma de organización intencional, en la que quizás no todos los subtipos eran funcionalmente equivalentes. Por el contrario, si cada subgrupo muestra un patrón aglutinado, y separado de otros, podría estar reflejando que todos los miembros de un subgrupo o remesa fueron transportados juntos a la fosa, y que cada subgrupo llegó por separado. Si la distribución es totalmente aleatoria, entonces podríamos plantearnos que todas las remesas o subgrupos se almacenaron juntas y mezcladas, sin ningún tipo de consideración, antes de ser depositadas en la fosa con los guerreros.

El reto para el análisis espacial que nos plantea este caso es que hay un condicionante fundamental, de mayor peso que la organización de la producción, y que afecta a la distribución espacial de los gatillos y el resto de las armas: la formación de batalla, y la ubicación de los ballesteros dentro de ella. Evidentemente, solo cabe esperar gatillos allí donde se ubicaban guerreros equipados con ballestas, y este es el principal factor que afecta a su ubicación. Por tanto, sería erróneo un análisis espacial que considera como hipótesis nula la distribución aleatoria de gatillos en cualquier lugar de la Fosa 1. Este tipo de condicionante es un “efecto de primer orden”, es decir, el resultado de un

fenómeno o proceso externo que propicia una distribución inhomogénea de puntos en el área de estudio (Bailey y Gatrell 1995: 32-5). En el caso de las puntas de lanza presentado anteriormente, el efecto de primer orden es doble: la distribución de estos objetos está afectada por la organización del ejército pero también, probablemente, por procesos postdeposicionales que afectan al yacimiento de manera irregular. Por el contrario, los “efectos de segundo orden” son aquellos que se derivan de fenómenos internos a la propia distribución de puntos en el espacio, y reflejan por tanto la propensión entre esos puntos a agruparse o separarse a intervalos regulares, por ejemplo. Estas características de segundo orden son la que nos interesan para entender las prácticas organizativas de los artesanos que armaron al ejército de terracota, pero es importante separarlas para evitar inferencias erradas (Bevan et al. 2013).

Considerando estos factores, es importante emplear un método que permita caracterizar la distribución de subgrupos de gatillos más allá de los patrones que impone la reglada ubicación de los ballesteros entre los otros soldados. En este caso, hemos empleado una función de correlación de pares, también conocida como función de correlación radial (Illian et al. 2008: 218-223; Wiegand y Moloney 2004, Perry et al. 2006; para otros ejemplos arqueológicos, véase Orton 2004; Li 2012; Bevan et al 2013). La función de correlación de pares permite medir la densidad (o intensidad) de puntos en anillos o anillos de diferente radio en torno a cada uno de los puntos. De este modo, nos permite identificar patrones de agrupamiento o segregación a distancias sucesivas rodeando a cada gatillo. En este aspecto, esta técnica se diferencia de otras formas de análisis espacial de patrones de puntos más comunes, como son coeficiente del vecino más próximo (que solo permite caracterizar el patrón de puntos a una escala concreta) o las funciones K y L de Ripley, que son estadísticas acumulativas (para ejemplos de estas últimas en arqueología, véase Orton 2004; Bevan y Conolly 2006; Vanzetti et al. 2010; para una revisión con ejemplos de ecología forestal, véase Rozas y Camarero 2005).

Asimismo, hemos combinado este análisis con una serie de tests randomizados obtenidos mediante simulaciones de Montecarlo (cf. Robert y Casella 2004). En particular, en nuestra simulación realizamos 999 repeticiones en las que aleatoriamente asignamos cada gatillo a un subgrupo, pero manteniendo fija la ubicación de los puntos en el mapa, y por tanto controlando los efectos de primer orden. El resultado de la simulación nos ofrece un rango de variabilidad aleatoria que podemos utilizar como hipótesis nula: si la distribución real de los gatillos está dentro de este rango, entonces concluiríamos que no hay efectos claros de segundo orden afectando la ubicación de los subgrupos. Si los valores reales son más altos en algún punto, nos indican una tendencia al agrupamiento en ese radio; si son más bajos, indican un patrón de repulsión a esas distancias.

La Figura 8 muestra un ejemplo de nuestros resultados. La imagen de la izquierda muestra la distribución espacial de uno de los ocho subgrupos de gatillos que definimos mediante análisis morfométrico, y que suponemos provienen de una misma unidad de producción. A la derecha se muestran los resultados de la simulación (en la zona sombreada), así como de la función de correlación de pares realizada sobre los gatillos en

este subgrupo (línea sólida roja). El eje x indica distancias, mientras que el eje y indica el promedio de la densidad de puntos por banda de distancia. En esta gráfica puede apreciarse la tendencia de los gatillos a agruparse a varias distancias, allí donde la línea sólida aparece con valores más altos que la zona sombreada: un patrón de agrupamiento claramente acentuado en un radio de hasta 5 metros, seguido de otra tendencia a agruparse en distancias de unos 10 metros, y quizás otras menos claras a distancias mayores.

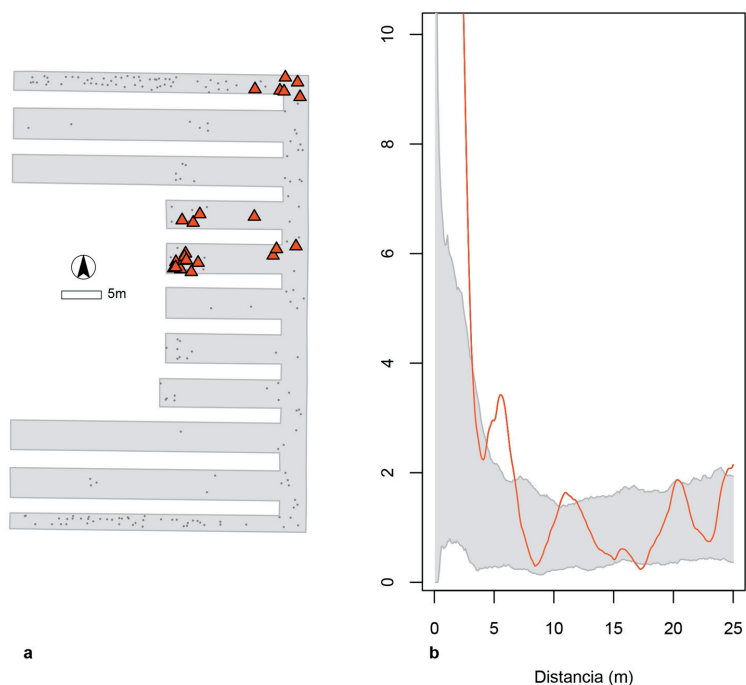


Figura 8. a) Distribución de los gatillos de alabardas, con indicación destacada de aquellos pertenecientes al subgrupo 2; b) función de correlación de pares de estos últimos, mostrando su tendencia al agrupamiento a distancias sucesivas.

En la figura 9 se muestran los resultados del análisis espacial de otro subgrupo de gatillos. El patrón de agrupamiento es visualmente similar, con la diferencia de que todos los gatillos se encuentran en sector sureste de la fosa, a diferencia de los anteriores, recuperados en el nordeste. La función de correlación de pares muestra una tendencia particularmente acentuada al agrupamiento en distancias entre 10 y 15 metros.

Finalmente mostramos la distribución de un tercer subgrupo, el mayor de la colección (Figura 10). En este caso, la función de correlación de pares muestra una fuerte

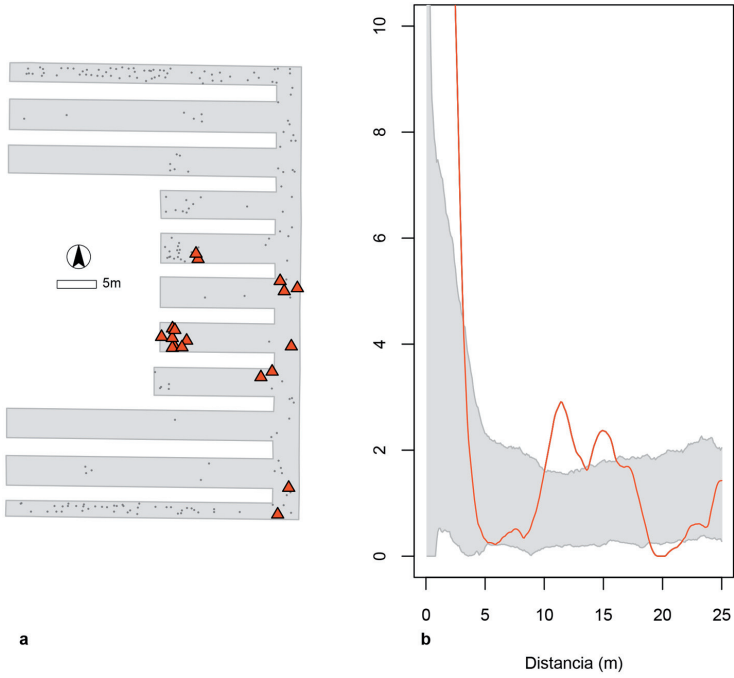


Figura 9. a) Distribución de los gatillos de alabardas, con indicación destacada de aquellos pertenecientes al subgrupo 5; b) función de correlación de pares de estos últimos, mostrando su tendencia al agrupamiento a distancias sucesivas.

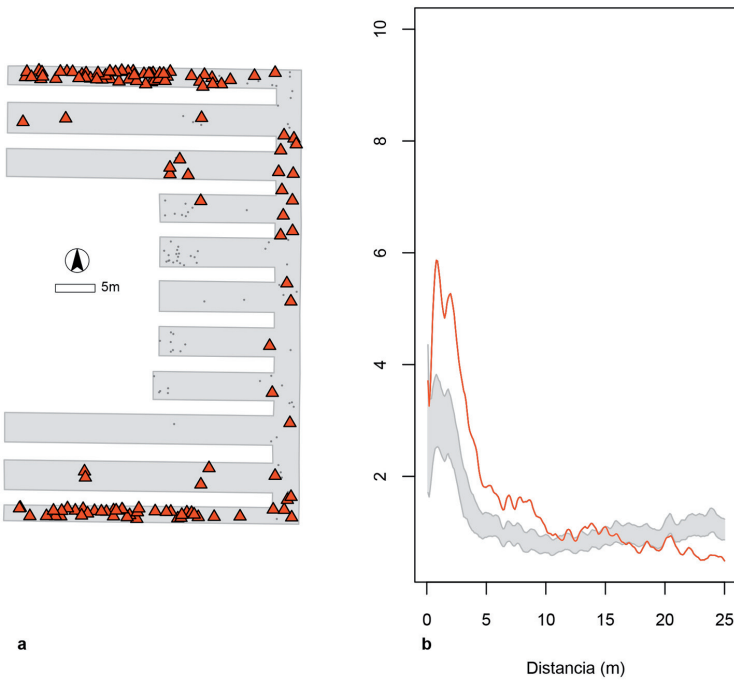


Figura 10. a) Distribución de los gatillos de alabardas, con indicación destacada de aquellos pertenecientes al subgrupo 6; b) función de correlación de pares de estos últimos, mostrando su tendencia al agrupamiento a distancias sucesivas.

tendencia al agrupamiento en todas las distancias hasta 10 metros, así como una posible tendencia a la repulsión en distancias superiores a 20 metros; esto último, probablemente un reflejo de que la mayor parte de estos gatillos aparece en los dos corredores más distantes, que son los flancos laterales.

Es aquí, en estos patrones que subyacen a la formación de batalla, donde encontramos la información que nos interesa, relativa a la organización de la producción de las armas, su almacenaje y transporte. Es probable que los grupos de gatillos morfométricamente similares se corresponden con remesas producidas en una misma célula de producción, posiblemente con los mismos moldes, y almacenados juntos antes de ser transportados a la fosa en grupo (Li et al. 2014). Según se desprende del análisis espacial, cada grupo de artesanos habría suministrado armas a un sector o sectores concretos dentro del ejército. Es interesante señalar que, según estos indicadores, parecería que algunas unidades produjeron más armas que otras. En este sentido, quizás sea significativo el hecho de que muchos de los gatillos en el último subgrupo de los señalados más arriba, y que es el más grande, portan inscripciones incisas que sugieren que podrían haber sido manufacturadas en un taller gubernamental (*Gong*). Por el momento no es posible determinar si estos patrones reflejan también la secuencia de producción (es decir, con una zona de la fosa equipada antes que la otra), o bien si hubo varias áreas de actividad dentro de la fosa, con obreros relativamente autónomos trabajando en paralelo para instalar y equipar a un número concreto de guerreros. Sea cual sea nuestra interpretación última, el análisis crítico de la distribución espacial, separando efectos de primer y segundo orden, y haciendo uso de estadística espacial, nos permite identificar los patrones de distribución con mayor seguridad y fiabilidad, y por tanto ofrece una base mucho más sólida para realizar inferencias de índole arqueológica (para otros ejemplos, véase Bevan et al. 2013).

Para terminar, podemos retornar al caso de los regatones para ilustrar un caso en el que el resultado de la función de correlación de pares sobre la distribución de objetos está dentro del rango de probabilidad calculado mediante la simulación de Montecarlo (Li 2012). En concreto, la Figura 11 muestra la distribución de un subgrupo de regatones morfométricamente muy similares, y clasificados como subgrupo IIIB. Entre ellos, hay unos cuantos con inscripciones que indican que proceden del taller gubernamental (*Sigong*), mientras que otros no muestran ningún tipo de marca (Figura 5). El análisis de estadística espacial indica que no existe una tendencia clara al agrupamiento o separación de los regatones marcados con respecto a los demás. Una interpretación posible es que todos los regatones proceden del mismo taller, pero que tan solo unos pocos, quizás seleccionados aleatoriamente, habrían sido marcados como parte del proceso de control de calidad.

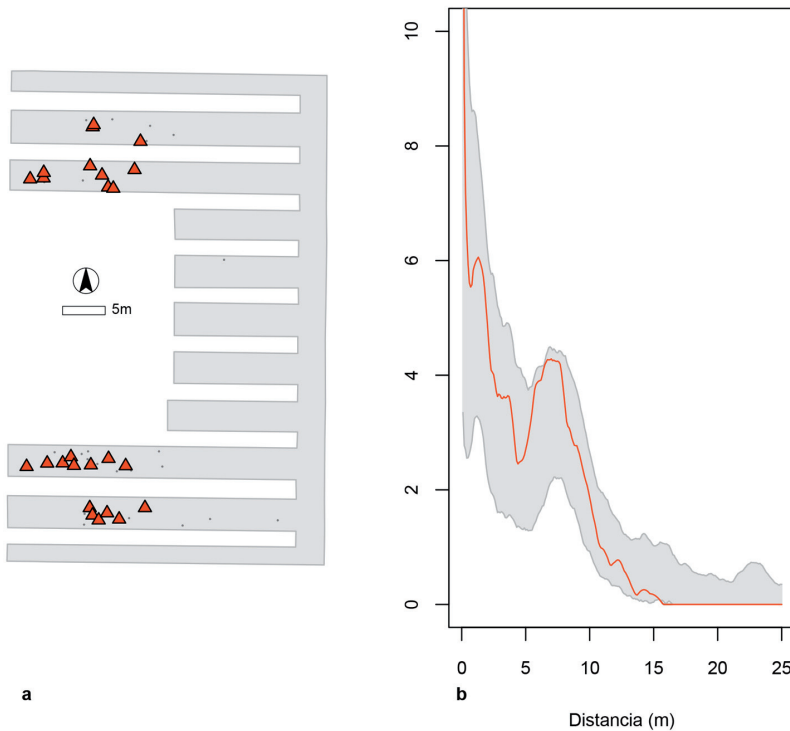


Figura 11. a) Distribución de los regatones tipo III con la inscripción “Sigong” (triángulos) entre otros regatones de la misma tipología; b) función de correlación de pares que muestra que la distribución espacial de regatones inscritos es aleatoria con respecto a la de los no inscritos, ya que encaja en el ámbito hipotético creado por la simulación de Montecarlo.

CONSIDERACIONES FINALES

Este artículo ha presentado algunos ejemplos de la aplicación de SIG para análisis espaciales en un proyecto en curso centrado en el Ejército de Terracota de Xi’an. Además de aplicaciones básicas que permiten observar e ilustrar patrones de distribución que responden a procesos culturales y tafonómicos de interés arqueológico, mostramos cómo combinando SIG con simulaciones de Montecarlo y estadística espacial se pueden llevar a cabo análisis más complejos en un marco probabilístico. Evidentemente, computación avanzada y estadística no son necesarios en todos los casos. Asimismo, nuestro trabajo no es más que uno más entre un número creciente de proyectos que tratan de emplear las herramientas de la ciencia para añadir rigor a las observaciones e inferencias de índole espacial que se realizan sobre cuestiones arqueológicas. No obstante, creemos que nuestro estudio ilustra técnicas relativamente sencillas y con aplicación a numerosos casos de análisis espaciales de patrones de puntos.

El uso de SIG en arqueología permite mucho más que la elaboración de cartografías digitales, mapas de distribución, visibilidad y áreas de captación. Con las herramientas adecuadas, es posible desentrañar los múltiples procesos que subyacen a la distribución de puntos en nuestros mapas, así como formular y validar hipótesis. El caso de estudio presentado aquí también nos recuerda que, aunque en última instancia solo los humanos pueden ofrecer interpretaciones sobre el registro arqueológico, la ciencia nos puede ayudar a verificar si nuestras intuiciones en torno a los datos son correctas. Así pueden ahorrarse tiempo, recursos y frustraciones.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte de un proyecto de colaboración entre el Museo del Mausoleo de Qin Shihuang y el UCL Institute of Archaeology. Queremos agradecer especialmente a Peter Ucko (q.e.p.d.), Thilo Rehren, Wu Yongqi, Cao Wei y Stephen Shennan su generosidad y ayuda para facilitar este proyecto, así como a otros muchos colegas que colaboran para que esta investigación prospere, entre ellos Xia Yin y Zhao Kun. Agradecemos también el reconocimiento y apoyo concedidos por la British Academy al adoptarnos como uno de sus proyectos oficiales, así como el mecenazgo de Rio Tinto.

REFERENCIAS

- Bailey, T. y Gatrell, T. 1995. *Interactive Spatial Data Analysis*. Harlow: Longman.
- Bevan, A. H., Crema, E. R., Li, X. J., y Palmisano, A. 2013. Intensities, interactions and uncertainties: some new approaches to archaeological distributions. In Bevan, A. H. and Lake, M. W. (eds.), *Computational Approaches to Archaeological Spaces*. Left Coast Press, Walnut Creek, 27-51.
- Bevan, A. y Conolly, J. 2006. Multiscalar Approaches to Settlement Pattern Analysis, in Lock, G. and Molyneaux, B. (eds.) *Confronting Scale in Archaeology: Issues of Theory and Practice*: 217-234. Nueva York: Springer.
- Bevan, A., Li, X., Martínón-Torres, M., Green, S., Xia, Y., Zhao, K., Ma, S., Cao, W., y Rehren, Th. 2014. Computer vision, archaeological classification and China's terracotta warriors. *Journal of Archaeological Science* 49, 249-254.
- Duan, Q. 2011. *Qin shihuangdi lingyuan kaogu yanjiu [Research on the tomb complex of Emperor Qin Shihuang]*. Pekín: Beijing University Press.
- García Sanjuán, L., Wheatley, D. W., Murrieta Flores, P. y Márquez Pérez, J. 2009. Los SIG y el análisis espacial en arqueología. Aplicaciones en la Prehistoria Reciente del Sur de España. In: Nieto Prieto, F. X. y Cau Ontiveros, M. A. (eds.): *Arqueología Nàutica Mediterrània*. Monografías del Centro de Arqueología Subacuática de Cataluña 8, 163-180. Girona: CASC.
- Illian, J., Penttinen, A., Stoyan, H. y Stoyan, D. 2008. *Statistical Analysis and Modelling of Spatial Point Patterns*. Nueva York: Wiley-Interscience.
- Li, X. J. 2012. *Standardisation, Labour Organisation and the Bronze Weapons of the Qin Terracotta Warriors*. Tesis doctoral. Londres: UCL Institute of Archaeology.
- Li, X. J., Martínón-Torres, M., Meeks, N. D., Xia, Y. y Zhao, K. 2011. Inscriptions, filing, grinding and polishing marks on the bronze weapons from the Qin Terracotta Army in China. *Journal of Archaeological Science* 38, 492-501.
- Li, X.J., Bevan, A., Martínón-Torres, M., Rehren, Th. Cao, W., Xia, Y. y Zhao, K. 2014. Crossbows and imperial craft organisation: the bronze triggers of China's Terracotta Army. *Antiquity* 88, 126-140.
- Martínón-Torres, M., Li, X. J., Bevan, A., Xia, Y., Zhao, K. y Rehren, Th. 2011. Making weapons for the Terracotta Army. *Archaeology International* 13/14, 65-75.
- Martínón-Torres, M., Li, X. J., Bevan, A., Xia, Y., Zhao, K. y Rehren, Th. 2014. Forty thousand arms for a single Emperor: from chemical data to the labor organization behind the bronze arrows of the Terracotta Army. *Journal of Archaeological Method and Theory* 21, 534-562.
- Orton, C. 2004. Point Pattern Analysis Revisited. *Archeologia e Calcolatori* 15: 299-315.
- Perry, G.L.W., Miller, B.P. y Enright, N.J. 2006. A comparison of methods for the statistical analysis of spatial point patterns. *Plant Ecology* 187, 59-82.
- Portal, J. 2007 (ed). *The First Emperor: China's Terracotta Army*. Londres: The British Museum.

- Robert, C.P., y Casella, G., 2004. *Monte Carlo Statistical Methods*. Nueva York: Springer.
- Rozas, V. y Camarero, J. J. 2005. Técnicas de análisis espacial de patrones de puntos aplicadas en ecología forestal. *Investigación Agraria. Sistemas y recursos forestales* 14(1), 79-97.
- Shaanxi Institute of Archaeology and Archaeological Team of Qinshihuangling. 1988. *Qinshihuang Ling Bingmayong Keng – Yihao Keng Fajue Baogao 1974-1984 [An excavation report on Pit 1 of the terracotta warriors and horses for the Emperor Qin Shihuang 1974-1984]*. Pekín: Cultural Relics Press.
- Vanzetti, A., Vidale, M., Gallinaro, M., Frayer, D.W. y Bondioli, L. 2010. The iceman as a burial, *Antiquity* 84, 681-692.
- Wang, X. 1980. Qinyong keng chutu qingtong bingqi de keji chengjiu [Research into the scientific achievement based on the Qin bronze weapons from the pits of the Qin Terracotta Army]. *Kaoguyuwenwu* 3, 99-107.
- Wang, X. 1983. Qinyong bingqi zhou lun [A preliminary discussion about the weapons for the Qin terracotta warriors]. *Kaoguyuwenwu* 4, 59-80.
- Wang, X. 1990. Yi fu qindai de chen bing tu [A military battle formation of the Qin dynasty]. *Wenbo* (5), 21-35.
- Wang, X. 1994. *Qinyong Zhuanti Yanjiu [A monographic study on the Qin terracotta warriors]*. Xi'an: Sanqin.
- Wiegand, T. y Moloney, K.A. 2004. Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. *Oikos* 104(2), 209-229.
- Williams, D. 2008. Mass-produced pre-Han Chinese bronze crossbow triggers: unparalleled manufacturing technology in the ancient world. *Arms and Armour* 5(2), 142-153.
- Yates, R. 2007. The rise of Qin and the military conquest of the Warring States, in J. Portal (ed.) *The first emperor: China's Terracotta Army*: 30-57. Londres: British Museum.
- Yuan, Z. 2014. *Qin bingmayong de kaogu faxian yu yanjiu (Archaeological Discoveries and Research on the Qin Terracotta Warriors)*. Beijing: Wenwu Press.
- Yuan, Z. y Qin, M. 1975. Qinyong Keng Bingmayong Junzhen Neirong Ji Bingqi Shitan [An investigation on the battle formation of the Qin Terracotta Army and weapons discovered]. *Wenwu* 11, 15-19.