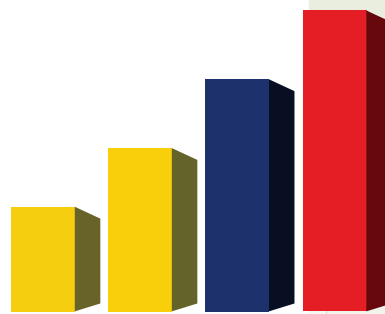


Analítica

Geoestadística y arqueología: una nueva perspectiva analítico-interpretativa en el análisis espacial intra-site

Geostatistical and archaeology: a new analytical-interpretative approach for intra-site spatial variability

Alfredo Maximiano Castillejo



www.inec.gob.ec | www.ecuadorencifras.com

Geoestadística y arqueología: una nueva perspectiva analítico-interpretativa en el análisis espacial intra-site

Geostatistical and archaeology: a new analytical-interpretative approach for intra-site spatial variability

Alfredo Maximiano Castillejo

IIIIPC The Cantabria International Institute For Prehistoric Research University of Cantabria, España

maximianoam@unican.es

Recibido: 24 de septiembre de 2012

Aceptado: 1 de noviembre de 2012

Resumen

La mayor parte de la metodología implementada en el análisis espacial arqueológico intra-site se limita a la caracterización de las distribuciones observadas en términos de concentración de restos en un conjunto de localizaciones (análisis clúster) sin tener en cuenta cuestiones relacionadas con la dependencia espacial de la distribución, en concreto, la noción de la autocorrelación apenas suele ser considerada. Todo ello conduce a una serie analítica-interpretativa de la variación espacial bastante simplista y esencialmente poco resolutive en relación al potencial de la problemática espacial objeto de estudio.

Frente a ese panorama, existen propuestas como la Geoestadística, cuyo argumento principal se centra en el estudio de la dependencia espacial de las distribuciones. En este trabajo, se implementan postulados y herramientas del análisis geoestadístico como medio para establecer un discurso analítico-interpretativo acerca de la variabilidad espacial en un yacimiento arqueológico donde el problema consiste en la detección y cuantificación del límite (interior/exterior) de una unidad doméstica (cabaña). Dicha estimación no podría hacerse mediante el enfoque y los recursos analíticos comúnmente implementados en arqueología.

Palabras clave: Geoestadística; Análisis espacial intra-site; Semivariograma; Gradiente espacial.

Abstract

Most of methodology implemented in archaeological intra-site spatial analysis is limited to the characterization of distributions in terms of spatial concentrations (cluster) regardless issues the spatial dependence of the distribution, specifically, the notion of autocorrelation is no usually considered. All this leads to a series of analytical-interpretative spatial variation rather simplistic and essentially little resolutive about the potential of space issues under study.

Against this background, there are proposals like Geostatistics, whose main argument focuses on the study of the spatial dependence of the distributions. In this paper, we implement postulates and tools from Geostatistical as a way to establish an analytical-interpretive discourse about spatial variability into an archaeological site where the problem focuses on detection and quantification limit (in / out) of a domestic unit (hut). This boundary could not be estimated if we are using approach and analytical resources commonly deployed in archeology.

Keywords: Geostatistics; Spatial intra-site analysis; Semivariogram; Spatial gradient.

Código JEL: C46

1 Introducción

La Arqueología, disciplina social, dejó de tener un predominio anticuarista y regido por principios no-cuantitativos a partir del desarrollo de la corriente analítica/interpretativa conocida como New Archaeology desde los 60Zs de la pasada centuria. Ese momento se puede considerar como el afianzamiento de la sistematización y formalización del análisis espacial en contexto arqueológico. Con ello, cobró la importancia que realmente merecía la asignación de las múltiples entidades arqueológicas existentes en el registro mediante un sistema de referencia (coordenadas y/o frecuencia)¹ espacial, lo cual permitiría la aplicación de test estadísticos para estimar la estructura espacial en las distribuciones de dichos restos. Desde ese momento, la innovación acerca de métodos y elementos teóricos incorporados al análisis espacial en arqueología no ha dejado de progresar.

Actualmente y gracias al continuo avance tanto en planteamientos teóricos como en la aplicabilidad de soluciones, se están superando determinadas cuestiones clásicas en este tipo de análisis (centrado únicamente en conocer el patrón de la distribución); ahora los arqueólogos están interesados en otras posibilidades que ofrece el análisis espacial, cuestiones relacionadas con el control de incertidumbre en base a la muestra empleada, la estimación de correlación espacial, predicción del patrón de distribución etc. Son una serie de problemas que surgen gracias a la aplicación de la tecnología de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y las nuevas técnicas en captura de datos (entre otros: estación total, láser escáner y fotogrametría). Junto a estos avances metodológicos, también se tiene en cuenta la presencia de nuevas series de datos en el registro arqueológico que hace unos años era imposible considerar (por ejemplo, detección y análisis de compuestos químicos orgánicos e inorgánicos, fitolitos, microestratigrafía, etc.)

Ante este panorama, las posibilidades analítico/interpretativas que ofrece la Geoestadística en la resolución de los problemas arqueológicos, se han convertido en una vía emergente y con muchas posibilidades. La relación entre análisis espacial arqueológico y Geoestadística no es una novedad ya que en el trabajo de Hodder y Orton (1976) [30] se aplica un cálculo de la medida de autocorrelación a través de los estadísticos I de Moran y C de Geary. Ese trabajo fue la primera aplicación sobre un problema arqueológico, posterior a él tenemos aplicaciones significativas [70; 28; 9; 31; 20]. Esas aplicaciones son interesantes, pero también son implementaciones parciales, en las que los recursos geoestadísticos se utilizan de manera aislada y en ocasiones, sin una clara convergencia entre el problema empírico y la interpretación casuística acerca de la variación espacial observada.

Frente a este panorama poco articulado, destaca el trabajo de síntesis publicado en 2004 por Lloyd y Atkinson

[34] sobre problemas espaciales arqueológicos y el uso de geoestadística como vía analítica e interpretativa. Inspirado en ese trabajo y en otras aportaciones [42; 43] el presente artículo pretende dar a conocer qué, cómo y para qué sirven los recursos geoestadísticos en el análisis espacial arqueológico aplicados a escala intra-site.

Para ello se desarrollan los siguientes contenidos (i) nociones básicas en torno al enfoque de los problemas espaciales arqueológicos intra-site desde el análisis de la correlación espacial; (ii) la estructura del proceso de análisis (donde se describen test estadísticos) y (iii) sus implicaciones analítico-interpretativas. Por último, para contrastar la validez del enfoque geoestadístico se realiza una aplicación sobre un caso de estudio etno-arqueológico (grupo social Yamana, Tierra del Fuego, Argentina) donde el problema a resolver es la percepción (ya que por medios tradicionales arqueológicos es imperceptible), y la cuantificación del límite (más probable) de una unidad doméstica (cabaña) en base a la organización espacial de una serie de variables.

2 Una reflexión desde el enfoque geoestadístico hacia el problema espacial arqueológico

Las tareas básicas de la Geoestadística son cuantificar, modelizar y predecir fenómenos espaciales. El modo en que esta disciplina describe la variación espacial de un fenómeno, tanto en el tiempo como en el espacio, se basa en una adaptación de las técnicas clásicas de regresión para analizar la continuidad espacial de un fenómeno determinado.

El objeto principal de la Geoestadística es la estimación de cómo cambian los valores de una variable en función a su localización. O lo que en palabras de su precursor G. Matheron [38:1248] (traducido del francés) "... la aplicación del formalismo de las funciones aleatorias, al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales en el espacio... "

Este tipo de argumento suele ser comprensible cuando tenemos en mente la idea de una distribución continua de un determinado evento, pero en contexto arqueológico no es fácil ni plantear el problema de la variabilidad regional ni desarrollar una serie analítico-interpretativa coherente con las hipótesis de partida y los modos de recolectar los datos. Esto puede deberse a que el tipo de variabilidad espacial que estudian los arqueólogos es el resultado de una serie de conductas humanas y procesos naturales que tuvieron lugar en una determinada porción de espacio físico. En ocasiones, determinadas acciones (sociales y naturales) eliminan parcialmente los restos materiales de otras acciones previas, dejando al arqueólogo con una fracción exigua

¹La primera excavación arqueológica con datos coordinados fue realizada en 1954 por Laplace y Méroc [33].

de restos y con mayor tendencia a la descontextualización que a la relación con otras componentes del registro material. En otras palabras, el planteamiento del análisis espacial arqueológico debería considerar y resolver por qué la localización de un determinado evento (estructura de habitación) está relacionado con la localización de otras evidencias (estructuras de combustión, hoyos de postes, basurales,...) y cómo se estructuran en el espacio.

Para poder encontrar soluciones, se deberá averiguar cómo ciertas consecuencias materiales de acciones sociales y naturales han llegado a emplazarse sobre un conjunto o mejor dicho, continuum de localizaciones. De tal modo que a través del cálculo de las diferencias y semejanzas desde el punto a hasta b ; desde a hasta c , desde b hasta c ,... (matriz $n \times n$), se establecerá la relación espacial que haya entre cada una de las entidades existentes en el área muestral.

Desde un punto de vista relacional y desde una orientación arqueológica, se puede considerar el lugar donde –con mayor probabilidad– la acción pudo haber sido realizada como: el punto de atracción o repulsión de todos los efectos materiales que pudieran resultar de dicha acción, así como los de todas las acciones que pudieran estar vinculadas con ella en torno a su vecindad [2:354].

Desde esta perspectiva relacional, se podrá conocer los límites (por ejemplo: el interior/exterior de la unidad ocupacional), las intersecciones (unas acciones o mejor dicho sus efectos, se solapan o cortan a otras, por ejemplo en la talla lítica de utensilios se puede limpiar los desechos de talla concentrándolos en localizaciones alejadas a la zona de actividad,...) y las discontinuidades operativas (espacios donde se pueden localizan determinadas acciones como zonas destinadas a las acciones de consumo: almacenaje en silos excavados en el subsuelo de la unidad doméstica etc.) que pueden definir la dinámica espacial a través de la porción localizada y recuperable de evidencias materiales (restos de talla, fitolitos, restos de fauna, presencia de fosfatos, ácidos grasos, elementos estructurales etc.)

No obstante, es evidente que no se pueden establecer correspondencias simples y/o lineales entre lo interpretable y lo observado, ya que difícilmente se pueden formular principios universales de la variabilidad espacial de la acción humana, y eso es un problema básico en toda formulación de la variación espacial arqueológica. En realidad, incluso, los avances metodológicos más recientes no llegan a proporcionar una base completa para conectar esas inferencias con otra cosa que no sean procesos muy simples de alteración post-depositacional o la pseudo localización de la acción que probablemente produjo determinada distribución de restos; ya que en ocasiones, las mismas dinámicas causales pueden llegar a producir resultados muy distintos en circunstancias y/o en contextos parecidos.

Una de las ventajas que aporta la Geoestadística al análisis espacial arqueológico es que tiene en cuenta que la distribución espacial observada contiene tanto al proceso causal que generó la distribución original de la población,

como otros posibles procesos que influyen-distorsionan los valores originales. Este tipo de enfoque acerca de la caracterización del comportamiento espacial puede ser muy útil en contexto arqueológico, ya que se puede establecer una función que modele un determinado proceso espacial (por ejemplo la tendencia de arrojar huesos de mayor tamaño fuera de las zonas de movilidad en el interior de una cueva) en base a un elemento determinista (tendencia espacial en desplazar los huesos de mayor tamaño hacia las paredes de la cueva) junto a una variación estocástica del mismo (determinadas condiciones microtopográficas del suelo y determinadas prácticas sociales pueden influir en la tendencia de la distribución).

Esta función es muy útil porque puede representarse a través de alguna herramienta que genere superficies de interpolación. La mayoría de ellas, permiten diferenciar el componente estocástico (o ruido) de la tendencia espacial, entendiendo a dicho componente como un elemento residual de la superficie interpolada. La principal implicación es la imposibilidad en caracterizar completamente el proceso, pero se puede investigar algunas de las características estadísticamente significativas sobre las distribuciones observadas. Algunas aplicaciones en arqueología son los trabajos de Hodder y Orton [30], Bove 1981 [8], Kvamme 1989 [31], Neiman 1997 [47].

Por tanto, algunos aspectos de la tendencia espacial (estructura) de una distribución de restos arqueológicos, se pueden cuantificar en términos de las características de la propia distribución en tanto al análisis de su patrón y de su co-relación espacial.

Así, el análisis espacial geoestadístico en arqueología, puede ser tratado desde una nueva perspectiva en la que la variación espacial se entiende como la variación de una continuidad y no un conjunto de entidades discretas que comparten unas cualidades materiales que se encuentran diseminadas sobre una determinada área. Para ello, y partiendo desde restos materiales distribuidos en la superficie del yacimiento, se podrá generar una superficie continua de variación donde se (i) perciba el cambio de la variable en función a su localización y además, (ii) interpretar dichos cambios en términos de dinámica espacial de atracción/repulsión o falta de interacción (aleatoriedad).

3 Metodología Geoestadística en el análisis espacial arqueológico intra-site

En las siguientes páginas se expone un programa analítico compuesto de diferentes test en función a la naturaleza del formato de datos espaciales, ya sean datos coordenados (nubes de puntos) y/o datos de frecuencias espaciales (densidad espacial). Se debe tener en cuenta que en arqueología más del 90 % de los datos disponibles en una excavación están en alguno -o en combinación de ambos- de los

formatos descritos anteriormente. Esos datos no son continuos, es decir, no cumplen las expectativas de datos geostatísticos (recordamos: una propiedad varía en función a la localización de manera continua, por ejemplo concentración de fosfatos en un área determinada), y esto condiciona mucho el modo de trabajar desde arqueología bajo los principios de la Geoestadística.

La determinación del patrón espacial es el punto de partida para caracterizar completamente la estructura espacial de una distribución, dos ejemplos de test geoestadísticos sobre datos coordenados son:

Test de Mardia es un algoritmo que calcula la normalidad bi-variada que exista en una distribución en base a la Multivariación de la Curtosis [36; 13; 57; 16]. La determinación de la aleatoriedad espacial se produce cuando la curtosis decrece proporcionalmente a medida que incrementa la desviación estándar de la distribución. Un ejemplo de esta función, apenas usada en arqueología, se encuentra en la propuesta de J.A. Barceló y A. Maximiano [4].

K de Ripley: Es un estadístico que permite establecer el tipo, la intensidad y el rango del patrón espacial a través del análisis de las distancias existentes entre todos los puntos. Este test contrasta la variabilidad espacial en base a diferentes escalas [54; 64]. Su notación:

$$K(d) = n^{-2} A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}^{-1} I_{ij}(d)$$

- n , número de puntos
- A , área de la región prospectada en unidades de superficie
- w_{ij} , es el factor de correlación del efecto de borde
- $I_{ij}(d)$, es 1 si $d_{ij} < d$; 0 si $d_{ij} > d$; d_{ij} es la distancia existente entre los puntos i y j

El supuesto de partida de este estadístico se basa en que si un grupo de puntos se distribuyen aleatoriamente, por ejemplo siguiendo una distribución Poisson, con una determinada densidad λ , el numero esperado de puntos en un circulo de radio r , es igual a $\lambda \pi r^2$; estimándose la desviación respecto a la aleatoriedad mediante la función *K* de Ripley [53; 54; 63; 14; 1; 18; 56]. El valor teórico esperado de la función *K* bajo el supuesto de aleatoriedad espacial es igual a πr^2 . De tal modo que:

- $K(r) > \pi r^2$, indica agregacion;
- $K(r) < \pi r^2$, indica uniformidad;
- $K(r) = \pi r^2$, muestra aleatoriedad.

Dado que en las áreas de estudio que cuentan con límites definidos, se pueden producir variaciones estocásticas que causen valores mayores o menores que r^2 , incluso para patrones de distribución de tipo Poisson, el test se deberá

completar con la construcción de intervalos de confianza, empleando para ello el método Monte Carlo, que consiste en realizar una simulación de un número elevado de patrones Poisson (con la misma intensidad y en un área del mismo tamaño que el patrón observado).

Algunas aplicaciones en arqueología son los trabajos de Orton (2004) [49]; Bevan y Conolly (2006) [5]; Conolly y Lake (2006) [12] y Schwarz y Mount (2006) [55] a nivel de territorio. Mientras que a escala intra-site se ha implementado por Barceló y Maximiano (2007) [3]; Maximiano (2008) [42]; Maximiano y Gómez Romero (2010) [43] Gómez Romero y Maximiano (2011) [25].

La determinación del patrón espacial mediante datos de frecuencia se realiza con estadísticos como *I* de Moran [46] y *c* de Geray [23]. Esto test han sido usados, sobretodo *I* de Moran, con bastante profusión, en arqueología. Frente a esa tendencia, queremos destacar las posibilidades de la función Correlograma. Esta función compara la distribución empírica con tendencias teóricas de agregación y desagregación espacial [58; 59; 60; 63]. Se representa a través de un gráfico (ejemplo figura 1) que muestra cómo cambia la correlación, expresado mediante un índice, que puede ser *I* o *c* (en la ordenada) en función a la distancia (en la abscisa), en la que el correlograma cruza el eje de abscisas para valores de autocorrelación nula ($I = 0$; aleatoriedad espacial) y representa al tamaño promedio de la zona (patch) de influencia de la variable en todas direcciones, asumiendo las condiciones de isotropía inherentes al proceso espacial [58; 59; 63].

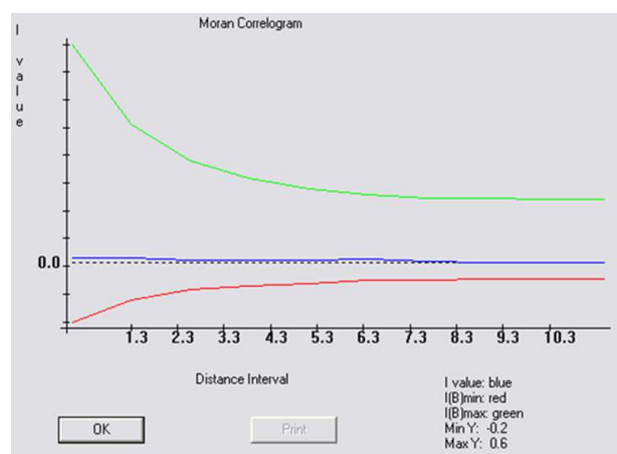


Figura 1. Representación del correlograma sobre una población empírica controlada creada ex profeso bajo las condiciones de aleatoriedad espacia; $n = 1000$. La función azul es la distribución empírica, la línea discontinua a la que se ciñe la función empírica representa la condición de aleatoriedad espacial. La función verde indica agregación y la función roja indica desagregación espacial. Software empleado: PAST

Actualmente, su aplicación en análisis microespacial es escaso [42] debido al desconocimiento de la función y al uso extendido de test *I* de Moran, pero potencialmente es

una herramienta muy interesante para la caracterización de distribuciones espaciales.

En arqueología la determinación del patrón de la distribución indicaría el final de la serie analítica. Por ello, el cálculo de la autocorrelación espacial no suele tenerse en cuenta. Ante esta situación habría que plantearse ¿qué puede aportar la determinación de la autocorrelación en una distribución de objetos arqueológicos? De manera intuitiva, la autocorrelación espacial de una variable sirve para determinar cómo la presencia de una determinada cantidad o calidad de la variable en una zona hará más o menos probable su presencia en regiones próximas. Más concretamente, Sokal y Oden (1978a) [58] afirman que los test de autocorrelación espacial verifican si el valor observado de una variable en una localización concreta es independiente de los valores de esa misma variable en las localizaciones vecinas. En esencia la autocorrelación es la expresión de la primera ley de la geografía: "todo está relacionado con todo, pero las cosas próximas están más relacionadas que las distantes" Tobler (1979) [62]. Si los arqueólogos somos capaces de incorporar estas ideas en nuestros programas analíticos acerca de la variabilidad espacial, seguro que permitiría una mejora considerable en múltiples facetas de la actividad arqueológica como en la estrategia del trabajo de campo donde el uso de modelos de predicción permitiría diseñar que partes del yacimiento son susceptibles de ser excavadas.

La herramienta geoestadística por la cual se calcula la medida de la correlación espacial es una función denominada Semivariograma. Esta función $h(v)$ modela el tipo y la intensidad de la correlación espacial que existe en la variable expresándolo de manera gráfica y numéricamente. Es, en palabras de su precursor G. Matheron (Matheron 1963: 1248): "... la aplicación del formalismo de las funciones aleatorias, al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales en el espacio...".

El semivariograma $h(v)$, representa la tasa media de cambio de una propiedad con la distancia entre las distintas localizaciones, en las que se han medido sus valores. Desde el punto de vista empírico, el semivariograma responde a la siguiente pregunta: ¿Qué tan parecidos (relacionables) son los puntos en el espacio a medida que estos se encuentran más alejados?

La expresión algebraica que la define es:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

- $Z(x_i)$ son los valores muestrales en los puntos x_i ;
- $N(h)$ es el número de pares de datos separados por una distancia h .

En el panorama arqueológico actual, y aún mostrando la capacidad de este método, la aplicación de la función semivariograma es bastante escasa en la disciplina

arqueológica. Algunas implementaciones aparecen en Zubrow y Harbaugh (1978) [70]; Warren (1990) [66]; Kvamme (1992) [32]; Lloyd y Atkinson (2004) [34]; aunque actualmente existe varias propuestas como las de Maximiano (2005) [41]; Barceló y Maximiano (2006) [3]; Maximiano (2008) [42]; Bevan y Conelly (2009) [5]; Maximiano y Gómez Romero (en prensa) [43]; Gómez Romero y Maximiano (2011) [25]; Markofsky y Bevan (2011) [40].

4 Aplicación geoestadística en un problema espacial arqueológico: El caso del yacimiento arqueológico Tunnel VII. Tierra del Fuego. Argentina

La elección de este caso se debe a dos cuestiones: la calidad de los datos arqueológicos recogidos en sucesivas campañas de excavación [50; 51; 21], y la capacidad interpretativa del yacimiento en clave etnográfica. Este caso permite una evaluación etno-arqueología de las principales acciones que fueron realizadas por las personas que vivieron en ese lugar gracias a la determinación analítica de los diferentes restos materiales recolectados mediante metodología arqueológica [11; 50; 65; 35].

El yacimiento es una unidad de habitación (cabaña) perteneciente al extinto grupo social conocido como Yamana, Se emplaza en la costa norte del Canal Beagle (Argentina) (54° 49' 15" S. y 68° 09' 20" E.). Este sitio ha sido completamente excavado en sucesivas campañas (desde 1988 hasta 1993) por un equipo internacional español-argentino. La excavación fue realizada completamente en extensión, ocupando una superficie de 32 m² en forma rectangular (eje mayor 8m, eje menor 4m). Con ello, se pudo excavar tanto el interior de la cabaña, como en los alrededores de la misma. Aparte de la información estrictamente arqueológica, se cuenta con información de origen etnográfico, desde la cual diferentes investigadores han podido establecer hipótesis de trabajo complementarias acerca de la variabilidad espacial de las múltiples distribuciones de restos existentes en el yacimiento [65; 68; 69].

En este trabajo, se pretende ilustrar el potencial de la geoestadística en casos arqueológicos sobre un determinado nivel de ocupación del yacimiento (de entre los diez niveles documentados) dentro de toda su secuencia de uso (más de 200 años) y se analiza la distribución de una determinada materialidad –restos de fauna y conchas– en torno al siguiente problema espacial: Determinación del interior / exterior de la cabaña mediante un contraste cuantitativo de dicho límite. Este es un problema común en arqueología, en muchas ocasiones el arqueólogo debe seguir un criterio visual o una somera relación entre entidades arqueológicas (por ejemplo presencia de estructuras de combustión, hoyos de postes, etc.) para establecer los límites de una cabaña o espacio de hábitat.

En arqueología, la estimación de un límite se hace complicado ya que 1) la forma de recolectar datos y 2) el escaso uso de programas empíricos-analíticos para la determinación de la organización espacial interna en un yacimiento, nos conduce a un ejercicio reflexivo en términos netamente cualitativos, sin posibilidad de contrastes numéricos y siempre (o casi siempre) encaminados en encontrar analogías sobre casos existentes que tengan alguna similitud con nuestra problemática.

También es cierto que resulta complejo establecer una relación coherente y cuantificable entre determinadas acciones y sus efectos materiales, ya que la fracción material recuperada mediante metodología arqueológica puede ser consecuencia de la superposición de varias y distintas acciones que inciden en los procesos de formación del registro arqueológico, de ahí la importancia y el desarrollo de la Tafonomía como paradigma y medio de conocimiento acerca de las relaciones entre acciones y efectos materiales [24; 7].

En el caso de estudio que se presenta en este artículo, se propuso el siguiente enunciado de trabajo [42:244]: “La gestión de los restos de fauna (huesos y conchas) –entendidos como efectos materiales de determinadas acciones– genera un patrón con tendencia a la agregación y espacialmente correlacionado en determinadas áreas del yacimiento proporcionando un proxy sobre el límite de la cabaña”.

4.1 Patrón y autocorrelación espacial



8	3	7	23	0	0	12	4	0	0	0	0	4	0	1	0	0
7	5	13	37	2	12	3	10	1	1	1	8	4	0	9	0	0
6	4	2	27	32	24	18	23	0	0	0	1	2	6	13	1	0
5	0	5	15	19	17	15	5	0	0	0	3	9	0	0	0	0
4	9	8	19	29	23	9	4	1	0	0	1	5	0	0	0	0
3	3	6	8	18	9	13	13	8	4	0	0	6	1	0	0	0
2	0	6	2	5	5	15	11	8	8	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	1	5	3	0	0	0	3	1	0	0	0	0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	

Figura 2. Imagen compuesta por densidad Kernel y tabla de contingencia de la distribución de restos en el yacimiento de Tunel VII. Tomado de Maximiano 2008 [42:185].

La visualización de la distribución espacial de la población objeto de estudio ($n = 673$) es de la manera que se

²Es un parámetro del semivariograma, la diferencia que existe entre la meseta (máximo de la función monótona decreciente que representa a la semivarianza) y el origen de abscisa y ordenada. La interpretación del semivariograma está influida por este efecto. Un semivariograma ajustado es aquel que presenta unos valores de pepita significativamente bajos o moderados. Por el contrario, un efecto pepita puro es una función semivariograma plana (paralelo al eje de la x), es decir: aleatoriedad espacial.

presenta en la figura 2 (datos de frecuencia espacial con un paso de malla de 33×33 cm).

Los test empleados en la determinación del patrón espacial (I Moran y c Geary) reflejan unos resultados ajenos a la aleatoriedad espacial de la distribución:

Estadístico	Índice	P (alea)
I Moran	0.55	0
c Geary	0.52	1

Tabla 1. Valores de estadísticos para determinar el grado de aleatoriedad de la distribución. Elaboración en PAST.

El correlograma de Moran muestra que la distribución no es aleatoria y con clara tendencia a la agregación espacial (notablemente por encima del mínimo de agregación representado mediante la función en verde).

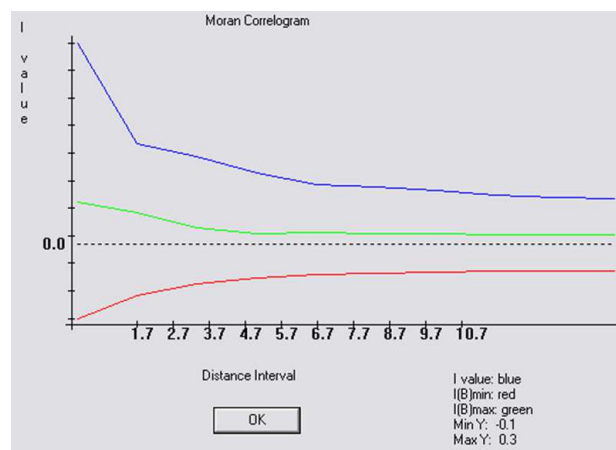


Figura 3. Imagen del Correlograma en azul la función empírica de la distribución.

Tras estas estimaciones, nos interesaba conocer la intensidad en la correlación de la distribución. Los resultados del semivariograma indican: (i) Forma prototípica de una dinámica espacial opuesta a la aleatoriedad. (ii) Según la función, el umbral, que es la varianza muestral de la población, muestra que la distribución es equilibrada. (iii) El rango, punto en donde el umbral alcanza su máximo valor (muestra la distancia a partir de la cual la autocorrelación sería nula), en este caso se sitúa en torno a 7,5 m. (iii) El efecto pepita² que alberga la distribución no es muy grande: un valor en torno a 20 sobre una oscilación de 100, equivale aproximadamente a 1/5 del total de la varianza, lo que implica que la distorsión sobre el modelo no es significativa, ratificando la calidad de la muestra para el conjunto de datos empleados.

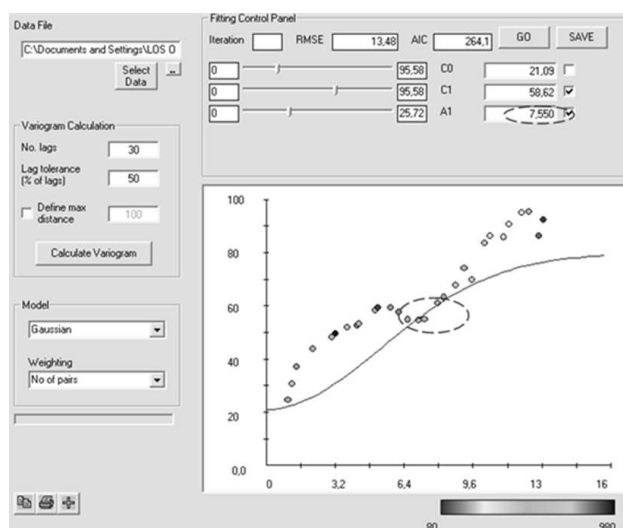


Figura 4. Imagen del semivariograma, se marca en círculo discontinuo el rango y el valor de autocorrelación. Software usado: Vesper.

En síntesis, mediante la función semivariograma se ha contrastado la tendencia -ya detectada- hacia la agregación espacial existiendo un valor de autocorrelación en la distribución de 7,5m. Con ello se puede reconocer la relación espacial entre pares de puntos hasta como máximo esa distancia.

4.2 Dinámica de atracción/repulsión como interpretación de la variación espacial en contexto arqueológico: El límite cuantitativo de la cabaña

Para establecer algún tipo de solución numérica acerca del problema social de segregación y posible uso del espacio en base a la distribución de restos arqueológicos, se debe partir del supuesto por el cual las actividades desarrollan en su entorno una compleja red de interacciones que pueden ser interpretadas en clave espacial de atracción/repulsión tanto de acciones (las mismas u otras), como de sus efectos materiales sobre una determinada región del espacio.

De este modo, la probabilidad de que una acción A tenga lugar en determinada localización l se relaciona con la ocurrencia de sus efectos materiales alrededor de l , pero también, con la ocurrencia de los efectos materiales de las acciones sociales y naturales, que explican por qué la acción A tuvo lugar en l y no en otro lugar. Por lo tanto, el problema se centra en cómo las diferencias en la localización de los efectos de la acción A se encuentran determinadas o condicionadas por las diferencias en la localización de los efectos de la acción B, B', C, \dots , así como, de las diferencias temporales entre los distintos momentos en que A, B, B', C, \dots tuvieron lugar.

Según el modelo espacial estándar de interacción espa-

cial [48], la fuerza de la atracción entre dos lugares $i - j$ es proporcional al número de flujos espaciales de un lugar i a otro j , e inversamente proporcional a la distancia entre estos lugares. Esto permite representar la fuerza de la atracción de i hacia j a través del modelo:

$$N_{ij} = \gamma \frac{O_i D_j}{F_{ij}^2} \quad (1)$$

Generalmente, el número de interacciones se relaciona con el tamaño de la población, así que, cuanto mayor es la población, mayores son las probabilidades a la interacción entre entidades espacialmente localizadas. Por lo tanto:

- O_i y D_j representan el tamaño de la población en el origen y el final de la interacción.
- F_{ij} es el efecto generalizado en medio i y j de la fricción.

La ecuación (1) da una medida de la intensidad de la interacción que es dependiente de la población y de la distancia geográfica, siendo los flujos de la interacción entre las distintas localizaciones proporcionales a la probabilidad de los contactos entre las entidades [52]. Pero también es necesario estimar la desigualdad y la direccionalidad de la interacción. Para ello se debe integrar en el modelo la jerarquía entre lo que se determina como centro de la atracción/repulsión y la periferia o radio de acción. El problema radica en que la ecuación (1) es un modelo estático y no explica porqué el centro adquiere más peso que cada punto individual de la periferia y en qué medida aumenta el flujo direccional (hacia el interior si es un atractor, hacia el exterior, si es un repulsor).

Arqueológicamente, este último aspecto es un problema que aun no es soluble aunque metodológicamente si se encuentre resuelto. Aun debemos desarrollar unos descriptores lo suficientemente válidos a la hora de atribuir la direccionalidad en las acciones ocurridas en un yacimiento arqueológico para poder validar hipótesis y hacer operativo este entorno de solución en casos arqueológicos.

Actualmente, una solución parcial se encuentra en la elaboración de un modelo en donde se cuantifique la tasa de cambio de la variable en el espacio. Para ello se debe utilizar técnicas como la interpolación polinómica y el gradiente espacial. La Interpolación polinómica es una técnica que predice los valores que tomará la variable dependiente para un conjunto determinado de localizaciones, obteniéndose una especie de mapa probabilístico del modo en el que se encuentra distribuida la Variable Regional.

A través de la función polinómica se puede hallar aproximaciones a valores desconocidos de la distribución en base a los datos de localización conocidos. Las aplicaciones de esta metodología en arqueología han sido variadas, siendo el referente fundamental el trabajo de Hodder y Orton (1976) [29], donde se describe la técnica y se presentan

una serie de casos de estudio. Otros trabajos en la bibliografía arqueológica son los de Bove (1981) [8], Kvamme (1989) [31], Neiman (1997) [47].

Una alternativa a la interpolación “clásica” es la implementación de superficies estocásticas, en las que se tiene en cuenta la presencia de cierto grado de incertidumbre sobre la variable espacial tratada [39]. Esto lleva a definir la variabilidad espacial en términos de: Componente estructural, componente aleatoria y error residual.

Esta aplicación no es muy usada en arqueología debido a que generalmente la totalidad del área muestral se encuentra documentada, con lo que no tiene mucho sentido aplicar superficies estocásticas. Pero también es cierto que si el problema espacial arqueológico cumple en su enunciado y resolución con las condiciones geoestadísticas, la predicción de localizaciones se convierte en una vía analítico-interpretativa muy interesante.

El gradiente espacial (variación de intensidad de un fenómeno por unidad de distancia entre un lugar y un centro dado) de un determinado fenómeno es la expresión de cómo la variable regional cambia según los valores que toma en las localizaciones vecinas. Esto significa que el gradiente determina la continuidad espacial sobre un conjunto de localizaciones que tienen una tasa de cambio parecida. Su principal implicación es que este test detecta regiones diferenciadas en base a la intensidad de cambio en los valores de la variable espacial [37]. Por tanto, y lo que es más importante, se pueden aproximar a las discontinuidades que alberge una determinada estructura espacial, identificando la tasa de cambio a través de los valores que tome el gradiente³.

La técnica es muy utilizada en análisis de imágenes, pero también puede aplicarse en el análisis espacial, ya que se trata de campos escalares en los que se intenta distinguir el contorno o límite de un área internamente homogénea que además se encuentra diferenciada de las áreas vecinas.

El algoritmo más usado para obtener el gradiente espacial de una distribución es el cálculo de la primera derivada, aunque pueden utilizarse una gran cantidad de métodos equivalentes (para ampliar se recomienda el trabajo de Sonka et al 1993 [61]).

Según lo anterior, la superficie polinómica y el gradiente espacial son el objeto final del análisis espacial propuesto en este artículo. Ambas entidades están relacionadas y constituyen el ámbito adecuado para resolver la problemática espacial arqueológica mediante su cuantificación y visualización analítica

A través de la superficie polinómica, se percibe cómo se localizan y distribuyen los valores de frecuencia en el área muestral. La imagen generada es una reproducción real de la deformación espacial a la que se encuentran sometidas las celdas próximas, según los valores de frecuencia espacial contenidos en ellas. Con esto, se puede determinar el

grado de deformación que pueda existir entre retículas vecinas. Lo más importante es que si la deformación es elevada, se puede considerar que existen cambios bruscos entre retículas adyacentes, entendiendo así que exista independencia espacial sobre retículas que se encuentren relativamente alejadas. Mientras que si el cambio es gradual o es imperceptible, se determinará la existencia de un vínculo espacial entre retículas. En el caso empírico propuesto, la superficie polinómica queda del siguiente modo:

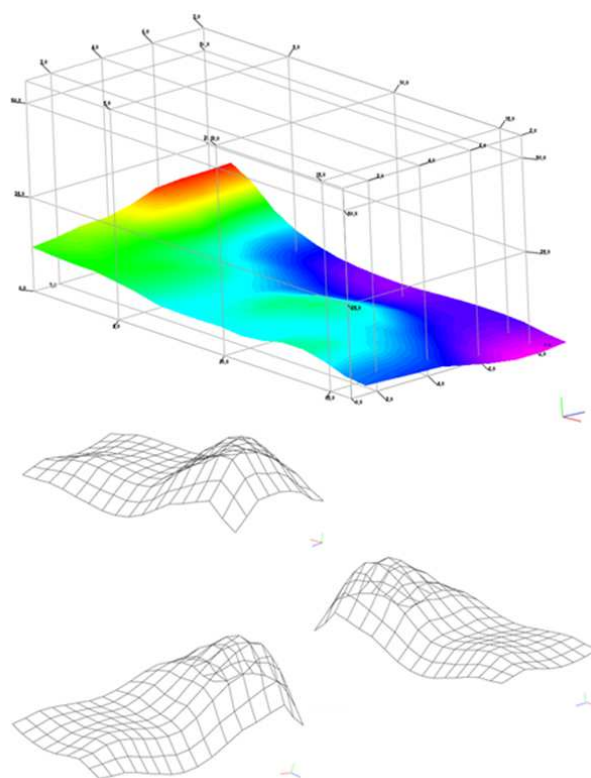


Figura 5. Superficie polinómica con trama de color y sin ella desde diferentes ángulos. Realizado en Rock Works.

La imagen de la superficie muestra una sub-área con valores de frecuencias relativamente elevados (tonos cálidos), los cuales se encuentran rodeados de localizaciones vecinas que tienden a una degradación paulatina en la intensidad (los valores de densidad espacial disminuyen gradualmente a medida que se aleja del punto central de la concentración).

A través del gradiente espacial se puede visualizar y cuantificar la discontinuidad, además se establece la ubicación y el valor de la tasa de cambio espacial en las diferentes regiones del espacio muestral. Así, la interpretación básica del gradiente indica que ante el caso donde una superficie contenga unas tasas de cambios elevadas, no existirá una estructura espacial (a esa escala) lo suficientemente concisa para poder caracterizar la atracción o la repul-

³Se recuerda que una discontinuidad es el límite observable en la primera derivada de la función matemática que describe las frecuencias espaciales (Gonzalez y Woods, 1993 [26]).

sión de acciones sobre una/as determinada/s región/es del espacio. Por el contrario, si la tasa de cambio es baja o moderadamente baja, entonces, se podrá atribuir la atracción/repulsión entre las acciones en una determinada región. La tasa de cambio espacial en el yacimiento Tunel VII (gradiente) muestra lo siguiente

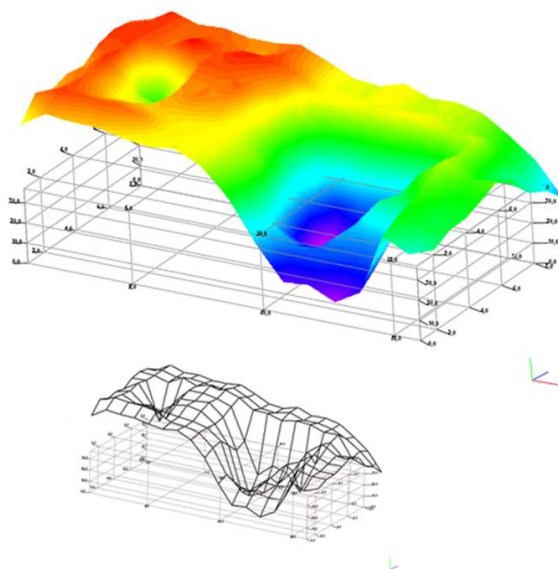


Figura 6. Gradiente en 3D de la distribución. La orientación es S.-E. se incluye misma imagen pero sin trama de color para hacer hincapié en las dos zonas estables y contrapuestas. Realizado en Rock Works

La imagen muestra dos áreas diferenciadas, pero con un comportamiento espacial muy parecido. Ambas depresiones están indicando los límites espaciales (discontinuidades) y cuantifican la intensidad de los mismos.

La combinación entre superficie polinómica y gradiente establece la relación por la cual en las zonas de mayor y menor intensidad espacial (valores de frecuencia altos y bajos) la tasa de cambio es muy baja, lo cual implica una alta estabilidad espacial. Se puede afirmar que en la zona de mayor intensidad espacial (altos valores de frecuencias por unidad de superficie), existe una tasa de cambio baja y a medida que se aleja de su centro, la tasa de cambio se incrementa paulatinamente. Paralelamente, en la zona de menor intensidad espacial (lo que equivale a frecuencias bajas de restos por unidad de superficie), existe una tasa de cambio mínima y a medida que se aleja de su centro, se incrementa paulatinamente.

Empero, a través de la superficie polinómica y el gradiente se detecta la presencia de dos áreas que se caracterizan no sólo por su estabilidad en la tasa de cambio -que es significativamente baja-, sino que, además, reflejan comportamientos espaciales opuestos:

- i) Áreas del espacio que tienen una probabilidad mayor para que en ellas se localicen determinado/s tipos de acción/es; y

- ii) Áreas del espacio donde la probabilidad de la repulsión en la localización de determinado tipo de acciones es elevada.

Por consiguiente, los valores bajos y parecidos en un área específica, nos indican una tendencia hacia la repulsión a la localización de determinadas acciones (asociadas a la categoría nominal restos de fauna). Esto conduce a una interesante solución: La concentración de restos materiales sobre determinadas localizaciones (en este caso agrupados bajo la categoría nominal restos de fauna) funciona como un atractor espacial sobre determinadas acciones (probablemente, las vinculadas a la gestión de los residuos). Los resultados obtenidos posibilitan:

Una medida cuantitativa en el uso del espacio en función a la ocupación sistemática de un conjunto de localizaciones y en la no-ocupación, igualmente sistemática, de otra serie de emplazamientos.

La tendencia a la hora de elegir las localizaciones de los efectos materiales de determinadas acciones sociales (vinculables a la gestión de residuos), lo que permitirá establecer una hipótesis acerca de la localización de la acción causal en clave de repulsión/atración espacial.

Inclusión de otras categorías arqueológicas que se puedan relacionar con las acciones vinculables a la gestión de los residuos, y que puedan determinar la segregación y el uso del espacio, por ejemplo concentraciones de desechos de talla, presencia de instrumental amortizado, restos de limpieza de fogones...

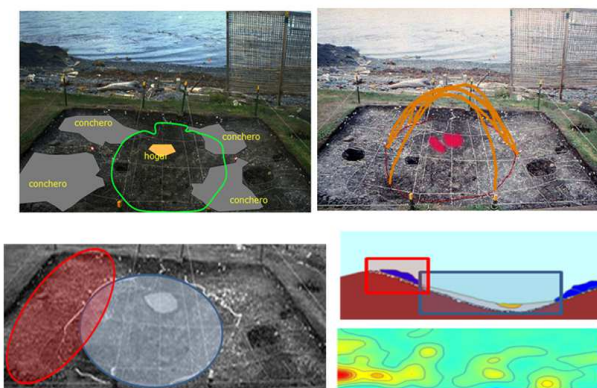


Figura 7. Interpretación del límite de la cabaña. Parte superior, propuesta analógica y etno-arqueológica acerca del límite de la cabaña (Imagen de J. Estévez y A. Vila). Parte inferior, elaboración propia acerca de la interpretación analítica sobre el posible límite de la cabaña. En rojo el área de atracción de acciones relacionadas con la gestión del residuo, en azul zona de repulsión de dichas acciones. La prueba analítica contrasta con el documento etno-arqueológico, validando así las posibilidades del enfoque geoestadístico.

5 Discusión sin conclusión: ¿Es la Geoestadística el nuevo paradigma de análisis espacial arqueológico?

La exposición realizada en los apartados anteriores se ha pretendido relacionar congruencia analítica a la hora de tratar un problema espacial en arqueología, y en segundo término, alcanzar un discurso interpretativo-causal acerca de la variabilidad espacial de determinadas poblaciones en clave de atracción/repulsión de acciones y efectos en determinado conjunto de localizaciones.

Posiblemente, lo más significativo de esta propuesta sea las aportaciones analíticas que se hacen sobre el análisis espacial arqueológico intra-site y su relación con la Geoestadística en términos de:

- i) Una nueva forma de concebir y entender el concepto espacio en el análisis espacial arqueológico en oposición al modelo tradicional de contenedor estático en el cual se albergan los efectos materiales de acciones y donde cada localización se explica por sí misma. Frente a ese planteamiento, la perspectiva relacional otorga al espacio una dinámica por la cual los efectos materiales de las acciones se encuentran localizados en base a la interacción entre restos materiales, acciones y circunstancias estructurales (sociales y físicas), cuyo resultado es un "complejo paisaje" en el que cada localización se explican en términos de los demás.
- ii) Una alternativa en la interpretación del problema espacial (consecuencia del punto anterior). La solución no pasa por definir la localización de la acción en base a unos restos que presumiblemente se asocian a ella, es decir, no se trata de buscar cómo están distribuidos los restos, sino qué tipo de acciones han emplazado a esos restos materiales sobre éstas y no en otras localizaciones.
- iii) Nuevas propuestas sobre el modo de intervenir en el área de excavación, se intenta buscar fórmulas que permitan registrar de una manera sencilla y directa la tendencia espacial que define a la distribución sin menoscabo de otras informaciones contenidas en el registro arqueológico. Se es consciente que adoptar esta forma de captura de datos implica modificar en ocasiones el modo de intervenir en el proceso de excavación. Básicamente, las estrategias de recogida de datos deben estar monitorizadas mediante herramientas que permitan visualizar, en tiempo real dicho proceso, esto permitirá obtener modelos de las distribuciones con significancia estadística, permitiendo ajustar, a criterios analíticos, la estrategia de intervención en cada momento.
- iv) Se aporta un corpus sistemático de técnicas para el análisis espacial a escala intra-site, destacando el uso

de la K de Ripley, Correlograma y el Semivariograma a esta escala, ya que la implementación de dichas herramientas aún es escasa y sobretodo, ha sido utilizada en casos de variabilidad espacial a escala macro-espacial y con referencia a un enfoque confuso en relación a las implicaciones lógico-formales de una distribución de efectos materiales de determinada acción o conjunto de acciones.

- v) Todo el protocolo analítico desarrollado deriva en el estudio del tipo de relación existente entre el gradiente espacial y la superficie polinómica de cada distribución objeto de estudio. De este modo, se alcanza una respuesta válida al problema espacial planteado (basado en la hipótesis interpretativa de atracción/repulsión espacial). La implicación más importante se centra en que el análisis de la primera derivada de la función de distribución puede ser una vía óptima en la solución de determinados problemas espaciales en arqueología que se encuentren relacionado con la localización de límites (por ejemplo: una cabaña)

A nivel de pensamiento arqueológico, un discurso interpretativo de la variabilidad espacial observada en términos de localización de acciones y no en base a la ubicación de determinados restos materiales, posibilitará una solución cuantitativa y con significancia estadística. Así, si existe la certeza de que un determinado espacio (doméstico, ritual, coerción,...) se caracteriza por la repulsión o atracción de un conjunto de determinadas acciones, y si somos capaces de reconocer dichas acciones en base a la fracción de los efectos materiales de las mismas; entonces, se podrá interpretar esa área en base a la dinámica espacial de sus acciones: atracción de restos sobre unas localizaciones y su sistemática repulsión a otro emplazamientos.

Sin duda alguna, la realidad arqueológica no es simple, debemos partir de que la propia distribución del fenómeno está modificando, a su vez, las condiciones del resto de localizaciones y las acciones potencialmente realizables sobre ellas. Además, la misma materialidad objeto de estudio puede cumplir múltiples funciones en una misma región del espacio [43].

Por todo ello, la resolución del problema no es un mapa de distribución de restos materiales, eso será sólo una primera aproximación al problema, el fin último es poder establecer un mapeado de acciones sociales y cómo aquellas se relacionan entre sí desde un análisis multivariante.

A modo de comentario final, se hace especial hincapié en que el enfoque geoestadístico pone de manifiesto relaciones espaciales reales y va más allá de la visualización, más o menos elegante y sofisticada, sobre algunas relaciones espacialmente aparentes. Actualmente, la apariencia en el análisis espacial arqueológico es un serio problema, ya que en ocasiones tenemos la tendencia a creer que la presencia de concentraciones de restos nos está indicando el

emplazamiento de las acciones que las causaron (siguiendo un argumento de tipo: "si aquí hay colillas, aquí han fumado"), lo que suele conducir hacia una reconstrucción carente de rigor científico de la dinámica espacial acontecida en el pasado en clave a una serie de restos que se encuentran adscritos a una categoría nominal.

Por el contrario, entender que una acción o conjunto de acciones (y no solo una fracción de sus consecuencias materiales), pueden realizarse en unas localizaciones específicas y no en otras, si posibilita el estudio de las relaciones espaciales que existieron sobre una determinada región (yacimientos arqueológicos) estableciendo un mapeado, probable, de donde fueron realizadas determinadas acciones.

Finalmente, no se debe olvidar que este enfoque, como cualquier otro, no zanja el problema espacial de la variación espacial en contexto arqueológico. Deberá ser el propio equipo de investigación, que con su corpus de preguntas, junto al exhaustivo análisis de la materialidad deberá definir los problemas espaciales a resolver, evaluando sus resultados mediante la validación o el descarte de la interpretación de la dinámica espacial establecida a través de un conjunto determinado de técnicas (en este caso, vinculadas con la Geoestadística).

Referencias

- [1] Bailey, T.C.; Gattrell, A.C. "Interactive Spatial Data Analysis." Longman Scientific and Technical. New York. (1995).
- [2] Barceló, J.A.; Piana, E. Martinioni: "Archaeological spatial modeling. A case study from Beagle Channel (Argentina)." En *Archaeological Informatics: Publish the Envelope*. Editado por G. Burenhult. Oxford, ArchaeoPress (BAR Int. Series 1016) pp. 351-360. (2002).
- [3] Barceló, J. A.; Maximiano, A. "The Mathematics of domestic spaces." Paper presented at: *Archaeology of the Household Workshop*. Barcelona, April 2006.
- [4] Barceló, J.A.; Maximiano, A. "Some Notes Regarding Distributional Analysis of Spatial Frequencies." *Proceedings of Computer Applications in Archaeology. Annual Conference (CAA-2007)*. Berlin. (2008)
- [5] Bevan, A. y Conolly, J. "Multi-scalar Approaches to Settlement Pattern Analysis." In Lock, G. and Molyneux B. (eds.) *Confronting Scale in Archaeology: Issues of Theory and Practice*. 217-234. Springer. New York. (2006)
- [6] Bevan, A., Conolly, J. "Modelling spatial heterogeneity and nonstationarity in artifact-rich landscapes." *Journal of Archaeological Science* 36-4: 956-964. (2009)
- [7] Binford, L. "En busca del Pasado." *Crítica*. Barcelona. (1988)
- [8] Bove, F.J. "Trend surface analysis and the lowland Classic Maya Collapse." *American Antiquity* 45; 93-112. (1981)
- [9] Carr, C. "The nature and organization of intrasite archaeological records and spatial analytic approaches to their investigations." *Advances in Archaeological Method and Theory*. Vol 7. Schiffer, M.B. (Ed.) Academic Press. New York. (1984)
- [10] Clarke, D. L. "Spatial archaeology." Academic Press. London. (1977)
- [11] Clemente Conte, I. "Los instrumentos líticos de Tunel VII: una aproximación etnoarqueológica." *Treball de Etnoarqueologia*. Volumen 5. CSIC. Barcelona. (1997)
- [12] Conolly, J.; Lake, M. "Geographical Information Systems in Archaeology." Cambridge University Press. Cambridge. (2006)
- [13] Cox, D. R.; Small, N. J. H. "Testing multivariate normality" *Biometrika*, vol. 65; 263-272. (1978)
- [14] Cressie, N. "Statistics for Spatial Data." Wiley-Interscience, New York. (1993)
- [15] Cliff, A.D. y J.K. Ord "Spatial Autocorrelation." Pion. Londres (1973).
- [16] Curran, P. J.; West, S. G.; Finch, J. F. "The robustness of test statistics to non-normality and specification error in confirmatory factor analysis." *Psychological Methods*, 1 (1), 16-29. (1996)
- [17] Dixon, P.M. "Nearest neighbor methods. The Encyclopedia of Environmetrics." El-Shaarawi A.H. y Piergorsch W.W. (eds.) Wiley, New York. (2002a)
- [18] Dixon, P.M. "Ripley's K function. En: The encyclopedia of environmetrics." El-Shaarawi A.H. y Piergorsch W.W. (eds.) Wiley, New York. (2002b)
- [19] Djindjian, F. "L'analyse spatiale de l'habitat." *Archeologia e Calcolatori*. Vol. 10; 124-147. (1999)
- [20] Ebert, J.I. "Distributional archaeology." University of New Mexico Press. M. J. Leaf. Van Nostrand (ed). New York. (1992)
- [21] Estévez, J. "El aprovechamiento de mamíferos y aves en Túnel VII." En *Arqueología sólo Patagonia*. (Ponencias de las Segundas Jornadas de Arqueología de Patagonia). Puerto Madryn. (1996)
- [22] Gattrell, A.C. "Distance and Space: A Geographical Perspective." Oxford University Press. Oxford (1983)
- [23] Geary, R. C. "The Contiguity Ratio and Statistical Mapping." *The Incorporated Statistician* 5 (3): 115-145. (1954)

- [24] Gifford, D.P. "Taphonomy and Paleoecology: a Critical Review of Archaeology's Sister Disciplines." En *Advances in Archaeological Method and Theory*. M Schiffer (Ed) 4, pp. 365-438. Academic Press. New York. (1981)
- [25] Gómez Romero, F.; Maximiano, A. "Avances en la aplicación del análisis geo-estadístico en arqueología histórica: el ejemplo del Fortín Otamendi (1858-1869)." *Revista de Arqueología Histórica Argentina e Latino-americana* . 4. 64-85. (2011)
- [26] González, R. C., Woods, R. E. "Digital Image Processing," Addison-Wesley, Reading. (1993)
- [27] Haining, R. "Spatial Data Analysis: Theory and Practice." Cambridge University Press. Cambridge. (2003)
- [28] Hietala, H. "Intrasite spatial analysis in archaeology." Cambridge University Press. Cambridge. (1984)
- [29] Hodder I. R. "Locational models and the study of Romano-British settlement." In *Models in archaeology*. (ed) D. L. Clarke. Methuen. London. (1972)
- [30] Hodder, I. R.; Orton, C. "Spatial analysis in archaeology." University Press. Cambridge. Cambridge (1976)
- [31] Kvamme, K. L. "Spatial Autocorrelation and the Classic Maya Collapse revisited: Refined techniques and new conclusions." *Journal of Archaeological Science*, Volume 17, (2): 197-207. (1989)
- [32] Kvamme, K. L. "A predictive site location model on the high plains: an example an independent test." *Plains Anthropologist*, 37 (138), 19-40. (1992)
- [33] Laplace-Jauretche, G., Méroc, L., "Application des coordonnées cartésiennes à la fouille d'un gisement." *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 51 (7), 58-66. (1954)
- [34] Lloyd, C. D.; Atkinson, P. M. "Archaeology and geostatistics." *Journal of Archaeological Science*, 31; 151-165. (2004)
- [35] Mameli, L; Estévez Escalera, J. "Etnoarqueozoología de aves: el ejemplo del extremo sur americano." *Treball de Etnoarqueologia*. Volumen 5. CSIC. Barcelona (2004)
- [36] Mardia, K. V. "Mardia's Test of Multinormality." In S. Kotz and N.L. Johnson, eds., *Encyclopedia of Statistical Sciences*, vol. 5. Wiley. New York. (1985)
- [37] Marr, D. and Hildreth, E. "Theory of edge detection." *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences* 207:187-217. (1980)
- [38] Matheron, G. "Principles of geostatistics." *Economy Geology* 58, (8) 1246-1266. (1963)
- [39] Matheron, G. "La théorie des variables régionalisées et ses applications." *Les Cahiers du Centre de Morphologie mathématique de Fontainebleau. Fascicule 5*. (1971)
- [40] Markofsky S; A. Bevan "Directional analysis of surface artefact distributions: a case study from the Murgab Delta, Turkmenistan." *Journal of Archaeological Science* 39 (2): 428-439. (2011)
- [41] Maximiano Castillejo, A. "Métodos geocomputacionales aplicados al análisis espacial en arqueología." Trabajo de Investigación. Universitat Autònoma de Barcelona. Barcelona. (2005)
- [42] Maximiano Castillejo, A. "Teoría geoestadística aplicada al análisis de la variabilidad espacial arqueológica intr-site." Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona. (2008)
- [43] Maximiano, A.; Gómez Romero F. "Application of logical geostatistical into an archaeological spatial problematic: Spatial dynamic into fortifications of the desert as a place of power in Argentine Pampas in Nineteenth Century." *Proceedings of CAA 2010*. Granada. (in press)
- [44] Maximiano Castillejo, A. (en prensa): "Experimentando con distribuciones espaciales en CPU: Simulación estocástica y Visualización como complementos analíticos en el análisis espacial arqueológico. (Niveles Magdalenenses de La Garma; España)." *Actas del III Congreso Internacional de Arqueología Experimental*. Banyoles Barcelona Octubre 2011. Monografías del Museu Arqueologic de Catalunya (2013).
- [45] Moral García, F.J. "Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales." *Ecosistemas*. Vol. XIII, 1. (2004)
- [46] Moran, P.A.P. "Notes on Continuous Stochastic Phenomena." *Biometrika*, 37, 17-33. (1950)
- [47] Neiman, F. D. "Conspicuous consumption as wasteful advertising: A Darwinian perspective on spatial patterns in Classic Maya terminal monument dates." En Barton, M. C. y Clark, G. A., (Eds) *Rediscovering Darwin: Evolutionary Theory and Archaeological Explanation*. Vol. 7 of *Archaeological Papers of the American Anthropological Association* 7. American Anthropological Association. Washington. (1997)
- [48] Nijkamp, P.; Reggiani, A. "Interaction, evolution and chaos in space." Springer, Berlin. (1992)
- [49] Orton, C. "Between Time and Space the geographical dimension of knowledge." *Archaeologia e Calcolatori* 15: 299-315. (2004)

- [50] Orquera, L. A. "Análisis de los conchales fueguinos y de la distribución espacial interna del Sitio Túnel VII." *Actas del XII Congreso Nacional de Arqueología Argentina*, 66-72. La Plata.
- [51] Orquera, L. A.; Piana A. E. (1999): *La vida social y material de los Yámana*. Eudeba-IFIC. Buenos Aires. (1999)
- [52] Pumain, D. "Vers une Théorie évolutive des villes." *L'Espace Géographique*, 2.119-134. (1997)
- [53] Ripley, B. D. "Spatial Statistics." Wiley. New York. (1981)
- [54] Ripley, B. D. "The second order analysis of stationary point process." *Journal of Applied Probability*, 13. 255-276. (1976)
- [55] Schwarz, K R.; J. Mount "Integrating Spatial Statistics into Archaeological Data Modeling." In Mehrer, M.K.; Wescott, K.L. (Eds.) *GIS and Archaeological Site Location Modeling*. (167-189) Taylor y Francis. Boca Ratón. (2006)
- [56] Schabenberger, O.; Gotway, C.A. "Statistical Methods for Spatial Data Analysis" Chapman y Hall/CR. Boca Ratón. (2005)
- [57] Smith, S. P.; Jain, A-K. "A test to determine the multivariate normality of a dataset". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 10 (5) 757-761. (1988)
- [58] Sokal, R. R.; Oden D. L. "Spatial autocorrelation in Biology. 1. Methodology." *Biological Journal of the Linnean Society* 10:199-228. (1978a)
- [59] Sokal, R. R.; Oden D. L. "Spatial autocorrelation in biology. 2. Some biological implications and four applications of evolutionary and ecological interest." *Biological Journal of the Linnean Society* 10:229-249. (1978b)
- [60] Sokal, R.R.; Oden, N. L.; Rosenberg, M. S. and D. Di-Giovanni D. "Ethnohistory, genetics, and cancer mortality in Europeans." *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 94:12728-12731. (1997)
- [61] Sonka, M., Hlavac, V., and Boyle, R. "Image, Processing, Analysis and Machine Vision." Chapman y Hall Computing Series. Chapman y Hall, London. (1993)
- [62] Tobler, W., "Cellular geography", en Gale, S. y G. Olsson (eds.): *Philosophy in Geography*. Dordrecht: Reidel), pp. 379-386. (1979)
- [63] Upton, G. J.; Fingleton, B. "Spatial Data Analysis by Example." Volume 1: Point Pattern and Interval Data. John Wiley. New York. (1985)
- [64] Venables W. N.; Ripley B. D. "Modern Applied Statistics with S-Plus." Springer. New York. (1994)
- [65] Vila, A.; Estévez, J. "Calibrando el Método: Arqueología en Tierra del Fuego." *Atti 1. Congreso Di Etnoarcheologia*. Roma. (1999)
- [66] Warren, R.E. "Predictive modelling of archaeological site location: a primer." In K.M.S. Allen, S.W. Green and E.B.W. Zubrow (eds) *Interpreting Space: GIS and Archaeology*. London. (1990)
- [67] Wheatley, D.; Gillings, M. "Spatial Technology and Archaeology: a Guide to the Archaeological Applications of GIS." Taylor y Francis. London. (2002)
- [68] Wunsch, G. "La organización del espacio interno de los asentamientos de comunidades cazadoras-recolectoras: Revisión crítica y alternativas." *Xama* 4-5. (1991)
- [69] Wunsch, G., Arasa, E.; Pérez, M. "Dissecting the palimpsest: an easy computer-graphic approach to the stratigraphic sequence of Tunel VII site (Tierra del Fuego, Argentina)." *Analecta Praehistorica Leidensia Univ. of Leiden*. (1996)
- [70] Zurbrow, E. B.; Harbaugh, J. W. "Kriging and simulation." In I. Hodder (Ed.) *Simulation Studies in Archaeology*. Cambridge University Press. Cambridge. (1978)