

URBANIZAR EN ÉPOCA ROMANA: RITUALIDAD Y PRACTICIDAD. Propuesta de un procedimiento homologado de ejecución

URBANISE IN ROMAN TIMES: RITUALITY AND PRACTICALITY. Proposal for an approved execution procedure

MARGARITA ORFILA PONS* / ESTHER CHÁVEZ-ÁLVAREZ** / ELENA H. SÁNCHEZ LÓPEZ***

Resumen: En época romana la orientación conferida a las construcciones solía tener significados simbólicos, reflejos de una ritualidad, especialmente en el caso de ciudades o santuarios. Aunque también podía responder simplemente a cuestiones de tipo práctico. En cualquier caso, el beneplácito de los dioses era condición *sine qua non* para iniciar la obra y dibujar sobre el terreno el diseño de la misma. Frente a la cuestión de su significado, se plantea una pregunta: ¿cuál fue el procedimiento de ejecución? En publicaciones precedentes, nuestra propuesta iba encaminada a identificar sistemas utilizados para conferir a las obras una orientación determinada. En este artículo planteamos un modelo de operar que va en paralelo con las interpretaciones dadas a las orientaciones, ya sean simbólicas o prácticas, proponiendo como modo de ejecución el explicado por *Nypsius* en el siglo I d.C. al describir la técnica de la *varatio*.

Palabras clave: Orientación, ritualidad, ortogonalidad, urbanismo romano, *varatio*, *gnomon*, *groma*.

Abstract: In Roman times, the orientation given to the buildings usually had symbolic meanings, reflection of a ritual, especially in the case of cities or sanctuaries, although the orientation could also simply respond to practical issues. In any case, the gods' support was essential for the beginning of the works, and the drawing of the design on the ground. Besides the topic of the meaning of the orientations, another question arises: what was the procedure? In previous publications, our proposal was intended to identify the systems used to give the works a certain orientation. In this paper we propose implementation rules which run parallel with the symbolic or pragmatic interpretations of orientations, proposing as the execution procedure the one explained by *Nypsius* in the first century AD when he describes the technique of *varatio*.

Keywords: Orientation, ritual, orthogonality, Roman urbanism, *varatio*, *gnomon*, *groma*.

* Dpto. de Prehistoria y Arqueología, Fac. de Filosofía y Letras, Universidad de Granada, Campus Universitario de Cartuja s/n, 18071. Granada, España. Correo-e: orfila@ugr.es.

** Dpto. de Geografía e Historia, Fac. de Humanidades, Universidad de La Laguna (ULL), Campus de Guajara s/n,

Apart. 456, 38200. La Laguna (Tenerife), España. Correo-e: echavez@ull.edu.es.

*** Dpto. de Prehistoria y Arqueología, Fac. de Filosofía y Letras, Universidad de Granada, Campus Universitario de Cartuja s/n, 18071. Granada, España. Correo-e: elenasanchez@ugr.es.

1. INTRODUCCIÓN

Para empezar a plasmar sobre un terreno el diseño de un ente a urbanizar, en el mundo romano era necesario contar con el beneplácito de los dioses. Un consentimiento que llegaba a través del ritual de fundación y bajo la responsabilidad de un augur; posiblemente el primer acto cultural romano llevado a cabo en ese lugar. Dentro de la serie de acciones que implicaba esa ceremonia inaugural, se encontraba la traslación a la Tierra de la imagen del Cosmos, el *templum caelestis*, materializando en el terreno la esfera celeste mediante dos líneas perpendiculares entre sí, orientadas hacia los puntos cardinales, inicio del *Decumanus* y *Kardo Maximus* (Chevallier 1967: 6; Castillo 1993:144).

Partiendo de ese esquema, un simple juego de coordenadas, se obtenía una organización armónica, con calles y vías bien trazadas, inalterables en la orientación de sus alineaciones, paralelas y perpendiculares entre sí, determinando espacios regulares modulados, ya fueran parcelas urbanas o rurales, campamentos, etc. Era, en muchos lugares, el paso de un espacio natural, a otro antropizado (Rosada 1991), planificado según el diseño de la mente humana y sometido, siempre prudentemente, a los designios divinos, tal como Higinio Gromático señaló (Hyg. Grom. *De lim. Cons.* 170.5).

La axialidad de las figuras obtenidas en este proceso determinó, en gran medida, el procedimiento de ejecución. De hecho, aquella ha marcado, de una manera u otra, la estructuración de la mayoría de las obras del mundo romano (Behrends 1992).

2. LA ORIENTACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS EN ÉPOCA ANTIGUA

Las creencias y simbologías tuvieron mucho que ver en la creación de un nuevo ente. Como se ha indicado, el ritual de fundación era imprescindible en su desarrollo, siendo fundamental la decisión del augur en relación con la orientación a otorgar a las infraestructuras (Frothingham 1917: 55). En este sentido, una cuestión que ha despertado interés es el hecho de que, aunque el ideal de los trazados ortogonales era que se orientasen siguiendo los puntos cardinales, la realidad es que en muchos casos no tienen esa orientación. Entonces, ¿a qué responden sus alineaciones? Las respuestas dadas por diferentes investigadores del tema no son unánimes. Mientras unos señalan la prevalencia de criterios religiosos y simbólicos, o de planteamientos astronómicos

y cosmológicos, otros inciden en cuestiones prácticas, o incluso plantean que son resultado del azar.

2.1. Orientaciones simbólicas y rituales

Las líneas equinoccial y del meridiano, entrecruzadas entre sí, son un reflejo del componente ritual y simbólico de la ortogonalidad. Es, en realidad, la misma figura conformada por el augur durante el ceremonial de fundación, considerando el punto central como el *locus gromae* (Chouquer y Favory 2001: 442), la intersección desde donde se desarrollaría el plano del espacio a urbanizar. Son los mismos planteamientos de Vitruvio (*De Arch.* I.1.2) al indicar que un arquitecto necesita saber astronomía, pues de ella se va a servir para muchas de sus creaciones; para empezar, según este arquitecto, tiene que conocer el uso del *gnomon* (*De Arch.* I.1.10), y para ello depende de la astronomía (Tosi 1991: 74).

Cuando los ejes principales no coinciden con la alineación de los puntos cardinales, es muy habitual interpretar que ese desvío responde a cuestiones simbólicas y culturales, estando marcadas casi siempre por argumentos astronómicos, referidos especialmente al posicionamiento del sol en el horizonte en su orto y ocaso. En esos casos, los puntos de los solsticios suelen ser los primeros en tomarse en consideración. Si se sospecha que esa fue la referencia en la orientación de una infraestructura, es importante, en primer lugar, chequear en el yacimiento a analizar el punto de salida del sol en el solsticio de verano (el de mayor amplitud y, por tanto, más cercano en grados al norte), y en el solsticio de invierno (en ese caso el más cercano al sur). Este abanico que va de orto a orto varía en relación al acimut de cada sitio (fig. 1). En lo que concierne al espacio abarcado por el Imperio Romano, desde la zona sur mediterránea hasta el muro de Adriano, la diferencia en amplitud de grados es de más de 35° (Costa y Orfila 2014: 152-155, fig. 76) (ver tabla 1).

Tanto Le Gall como otros autores han aconsejado tener presentes en cada ubicación las posiciones solsticiales, pues sospechaban que en ocasiones se habían propuesto alineaciones de edificios hacia puntos concretos del horizonte por los que, en realidad, dada la latitud, en ningún momento del año sale el sol (Le Gall 1975: 289-292; Magli 2008: 65-66). Por otra parte, en el momento de llevar a cabo esas comprobaciones debe tenerse presente el eje de rotación de la Tierra, afectado por perturbaciones gravitacionales —unas más apreciables y otras solo a largo plazo—, que afectan tanto al sol

como a la luna y el resto de planetas. Así, la declinación solar del solsticio de verano sería 23.9° en el II milenio a.C., calibrado a 23.67° en el cambio de Era (calendario gregoriano), mientras que ahora lo está a 23.44° ; variedad también presente en los solsticios de invierno. La variación desde la época romana no es importante, no alcanza medio grado (0.5°) (Green 1985; Berrocoso *et al.* 2003; Kelly y Milone 2011), pero debe tenerse en cuenta si fueron esos los puntos de referencia a la hora de orientar cualquier construcción.

Un ejemplo de las interpretaciones simbólicas sería el *hierothesion* de Antíoco I en Nemrud Dag (Turquía), en donde se ha podido identificar que este monumento funerario refleja la situación del cielo en el año 49 a.C. Los leones en relieve de unas lastras que decoran esta construcción tienen un significado relacionado con el horóscopo, mientras otras representaciones se identifican con dioses heleno-romanos y locales. No obstante, también el edificio en sí tiene su propia simbología. Las observaciones directas llevadas a cabo en 2009 por Belmonte y García permitieron identificar que las terrazas este y oeste de este mausoleo estuvieron alineadas con la salida del sol en los solsticios de verano e invierno del año 49 a.C. (Belmonte y García 2010: 476).

Que determinadas alineaciones o vías principales estén orientadas a puntos solsticiales (tanto a los ortos como a las puestas del sol), se ha planteado en diversidad de ocasiones (Le Gall 1975; Gottarelli 2003b: 156, fig. 3; Gottarelli 2004: 142-143; Magli 2008: 65-66). Uno de los ejemplos citados es el *auguraculum* de *Bantia*, una estructura formada por nueve cipos clavados en la tierra, cada uno de ellos con inscripción relativa a las palabras evocadas por el augur en el momento de la *contemplatio*, y una plataforma utilizada como lugar para la observación del horizonte (Torelli 1966). Los cipos se organizan en tres líneas, interpretadas como coincidentes con los ortos y puestas del sol en el solsticio de verano e invierno las exteriores, mientras la línea central correspondería a los equinoccios (Gottarelli 2003b: 156, fig.3; Magli 2008: 65-66). Ese diagrama se ha comparado con la planimetría del trazado ortogonal de la ciudad etrusca de Marzabotto (Carandini 2000; Gottarelli 2003a y b y 2004), y se ha interpretado como reflejo a escala de la representación de una “cuadratura” del *templum* celeste, reflejada en el *templum in terris* visto en *Bantia*.

Otra de las propuestas es que las alineaciones coincidan con el posicionamiento del sol en el horizonte, habitualmente en su orto y puede que también en el ocaso, en días señalados dentro del calendario. Volviendo al *hierothesion* de Antíoco I en Nemrud Dag (Turquía), y revisados los calendarios de la zona, con la influencia

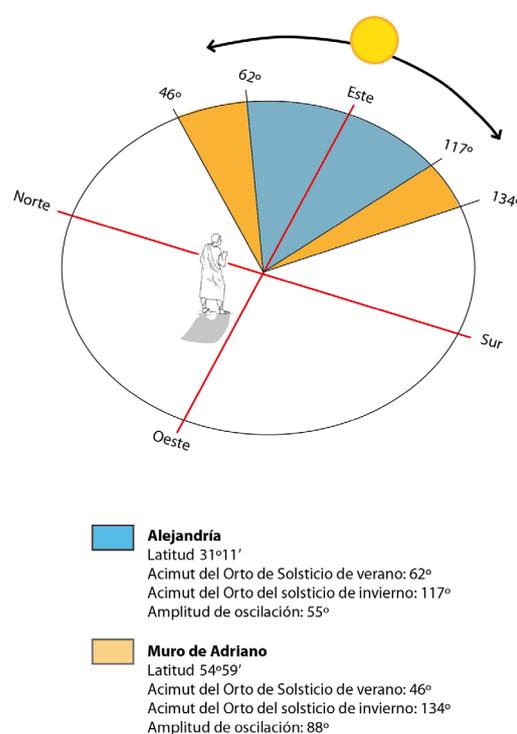


Figura 1. Arcos de oscilación de los ortos del Sol en la zona de Alejandría y del muro de Adriano.

de los calendarios babilónicos lunisolares, Belmonte y García apreciaron que las placas en las que están representados los relieves de los leones reflejan una serie de acontecimientos astronómicos. Según sus conclusiones, las cinco esculturas ciclópeas de la terraza este estarían dirigidas a la salida en el firmamento de la constelación de Leo el 23 de julio del año 49 a.C., conmemorando la subida al trono de Antíoco I, tal como se especifica en la inscripción. Al mismo tiempo, la otra terraza estaría alineada con la salida del sol el 23 de diciembre del 49 a.C., en conmemoración del día del nacimiento del rey. Por tanto, parece que la fecha de inicio de la construcción de este monumento sería en ese año 49 a.C. (Belmonte y García 2010: 479).

Por otro lado, un ejemplo muy singular lo constituye Alejandría, considerada como una ciudad helénica simbólica, y como tal, la orientación de su plano urbano se ha interpretado bajo ese criterio. Para Ferro y Magli la vía Canopial, principal eje de la ciudad, se alinearía con el orto del sol en el probable día en que nació Alejandro Magno (Ferro y Magli 2012: 387), el 20 de julio según nuestro calendario. Su análisis ha determinado que la orientación de esta vía se posiciona a $65^\circ 15'$, una

Tabla 1. Azimut del orto solsticial, durante los solsticios de verano (Ver) e invierno (Inv), en diferentes lugares del Imperio Romano en función de la latitud (Lat); (difE: desviación del orto respecto del Este (al Norte en verano y al Sur en invierno)).

LAT	Lugar	Posición geográfica	Inv	Ver	difE
31	Alejandro (Egipto)	(31°11'53"N 29°55'09"E)	117.8	62.2	27.8
33	Lepcis Magna, (Libia)	(32°38'17.988"N 14°17'35.016"E)	118.3	61.7	28.3
34	Volubilis (Marruecos)	(34°04'26.004"N 05°33'24.984"O)	118.8	61.2	28.8
35	Timgad (Argelia)	(35°27'N 6°38"E)	119.3	60.7	29.3
36	Baelo Claudia (Cádiz)	(36°05'23"N 5°46'29"O)	119.6	60.4	29.6
37	Cartago (Túnez)	(36°51'11"N 10°19'23"E)	119.9	60.1	29.9
37	Tarsus (Turquía, cerca de Siria)	(36°55'13"N 34°54'0"E)	119.9	60.1	29.9
38	Taormina (Sicilia)	(37°51'0"N 15°18'0"E)	120.3	59.7	30.3
40	Pollentia (Mallorca)	(39°52'N 3°07"E)	121.3	58.7	31.3
41	TurrisLibisonis (Porto Torres, Cerdeña)	(40°50'0"N 8°24'0"E)	121.8	58.2	31.8
41	Constantinopla (Estambul)	(41.01224, 28.976018)	121.9	58.1	31.9
41	Barcino (Barcelona)	(41°22'57"N 2°10'37"E)	122.1	57.9	32.1
41	Pompeya	(40°44'58"N 14°29'12"E)	121.8	58.3	31.8
42	Clunia (Burgos)	(41°46'50"N 3°22'14"O)	122.3	57.7	32.3
42	Roma	(41°54"N 12°30"E)	122.4	57.6	32.4
43	Lucus Augustus (Lugo, Galicia...)	(43°01"N 7°33"O)	123.0	57.0	33.0
44	Glanum (Sur de Francia)	(43°42'0"N 4°49'55"E)	123.5	56.5	33.5
45	Verona (Norte Italia)	(45°26"N 10°59"E)	124.6	55.4	34.6
46	Dacia Sarmizegetusa	(45°37'21"N 23°18'36"E)	124.8	55.2	34.8
46	Lugdunum (Lyon, Francia)	(45°45'35"N 4°49'10"E)	124.9	55.2	34.9
48	Augusta Raurica (Basilea, Suiza)	(47°32'2"N 07°43'17"E)	126.2	53.8	36.2
51	Colonia Agripina (Colonia, Alemania)	(50°57'33"N 06°58'32"E)	129.3	50.7	39.3
52	Londinium	(51°30'00"N 0°07'34"O)	129.8	50.2	39.8
55	Segedunum (muro de Hadriano)	(54°59'33.4"N 2°36'3.6"O)	134.0	46.0	44.0

orientación muy cercana al azimut del solsticio de verano de esa zona (62°20'), hoy en día desplazado unos 45° con respecto al antiguo debido a la oblicuidad de la elipse (Ferro y Magli 2012: 386). Refuerza esa hipótesis simbólica el que esta calle no corre paralela a la orilla del mar, que sería lo lógico si se hubiesen aplicado criterios de tipo práctico cuando se diseñó la ciudad.

Para el mundo romano se ha propuesto también relacionar alineaciones con la salida del sol y fechas de

algunas *feriae*, el día de nacimiento de su fundador, o del nacimiento de Augusto. Pueden también coincidir esas alineaciones con el punto de salida del sol el día de la fundación de la propia ciudad, su *dies natalis*. De hecho esta fecha era considerada una de las fiestas más importantes en muchas ciudades, tal como Ekstein relató en 1979. La importancia del día de la fundación se enraíza con la propia fundación de Roma, llevada a cabo por Rómulo el 21 de abril del año 753

a.C., día dedicado a la diosa *Parilia* (*Fast.* 4.801; Dion. Hal. 1.87.3; Diodoro 7.6; Livio 1.7.3; etc.). En la propia *Urbs*, determinados edificios adquirieron, por cuestiones sagradas, unas orientaciones específicas, como el *Area Sacra* de Largo Argentina y el teatro de Pompeyo, alineados según la puesta del sol del 21 de abril, mientras que el *Porticus Liviae* lo está al alba del mismo día y el Panteón sigue la puesta de sol del solsticio de verano (Capone 1991: 60).

Un ejemplo de alineaciones cosmológicas es la ciudad de *Nertobriga Concordia Iulia* (Fregenal de la Sierra, Badajoz), *Municipium Romanorum* del cambio de Era. Especialmente en el caso de la orientación de su santuario y los edificios de su entorno, dos templos adyuntos situados sobre un mismo podio que al edificarse respetaron los restos de un antiguo hogar perteneciente al *oppidum* previo allí existente. La alineación de estas estructuras, según sus excavadores, está:

“...muy cercana al orto solar teórico del solsticio de invierno, hacia el 21 de diciembre, que establecemos en 122° 50'. En realidad, el emplazamiento de este azimut (104° entre los 90° del equinoccio de otoño (21 Oct.) y los 122° del citado solsticio de invierno (21 Dec.) se aproxima mucho a la fecha del 8 de noviembre, cuando en Roma se celebraba el *mundus patet*, uno de los tres días anuales en los que se abría la tapadera del *mundus* del Palatino para poner en conexión el “mundo del más allá” con el terrenal (Festo 274, L 2; *apud* Cato 144, 14 s). Es decir, esta orientación permitiría suponer un valor no sólo inaugural en relación con el *pomerium*, sino cónico al conjunto del altar y la fosa, identificando ésta con el *mundus* del futuro *municipium*, donde se depositó la reja del arado...” (Berrocal-Rangel *et al.* 2014: 102-103).

En otras ocasiones, las propuestas en relación a qué regía el posicionamiento de las alineaciones de ciertas estructuras, han determinado el uso de las estrellas y su aparición en el firmamento a partir de fechas concretas. Caso por ejemplo de la estrella Sirius, relacionada con las estaciones del año. La salida de este astro es citada como referente en la alineación del cardo de la ciudad de Sabratha, Tripolitania (Belmonte y Hoskin 2002) y probablemente también para la de Sufetula (Belmonte *et al.* 2006: 77-79).

Por último, en la ciudad minera de *Munigua* (provincia de Sevilla), con el magnífico santuario de terrazas que corona la colina en donde se ubicó esta urbe, se ha considerado que la orientación del mencionado santuario tiene que ver con la naturaleza. Desde la parte superior del mismo se visualizan perfectamente los puntos cardinales sur y este, quedando alineado en

el horizonte con una elevación en dirección este. En este caso, naturaleza y arquitectura se enfrentan entre sí, se complementan y completan mutuamente (Schattner 2004: 247).

Con los templos, aunque existe en las fuentes una especie de nebulosa en relación a sus orientaciones, sí se entrevén algunas respuestas referentes a qué responden sus orientaciones. Frontino (*De Aq.*), junto a Vitruvio (*De Arch.* IV.5.1), indicaron que los templos estaban orientados hacia el oeste, mientras Varrón (*Ling.* VII.7) y Plinio (*Nat. Hist.* II.143) señalan que hacia el sur. Otros muestran preferencia hacia el este como Livio (*Ad Urb. Cond.* 1.18.6), Dionisio de Halicarnaso (*Ant. Rom.* I.5.2-3), Plutarco (*QR.* 78), Servio (*ad Aeneid.* II.17.693) e Isidoro de Sevilla (*Etymologiae* XV.4.7). Platón (*De Leges* VI.760d), en relación con los griegos, indicaba que preferían dirigir sus templos hacia el norte (Aveni y Romano 1994a: 548). Las comprobaciones realizadas en diferentes santuarios han demostrado la diversidad en relación a la orientación de sus fachadas. Los templos helenos se orientaron hacia el este, con una tendencia en los de la Magna Grecia a agruparse en orientaciones específicas en relación al momento de su construcción. Por otra parte, los templos etruscos se han relacionado con cuestiones astronómicas que corresponden a orientaciones alineadas al punto de salida del sol en la celebración de alguna fiesta sagrada, lo que luego serán las *feriae* romanas (Aveni y Romano 1994a: 558), aunque se aprecia que básicamente todos miran hacia el meridiano. Mientras que los romanos presentan todo tipo de orientaciones (Aveni y Romano 1994a y b y 2000), coincidente con lo escrito sobre el bronce de Piacenza, o en los textos de *Martianus Capella*, del siglo V d.C., que asoció los templos a las 16 regiones en las que habitaban los dioses romanos, ocupando todo el arco celeste (Aveni y Romano 1994a: 550-2, fig. 6 y 8).

2.2. Orientaciones relacionadas con cuestiones prácticas

Junto a la interpretación cosmológica y simbólica, en las fuentes literarias también aparecen recomendaciones referidas a las orientaciones de las alineaciones de los entes según criterios prácticos. Ya Le Gall, en 1975, ponía en duda la idea hasta entonces comúnmente admitida, de que la orientación de las ciudades romanas estaba relacionada con cuestiones religiosas, con origen en la *disciplina Etrusca*, y que se realizaba a partir del punto por el que se producía la salida del

sol el día de la fundación de la ciudad, que coincidía a menudo con el cumpleaños de su fundador. Le Gall indicaba que ninguna fuente literaria antigua apoya esta teoría. La amplitud anual del sol (el arco comprendido entre los solsticios de verano e invierno), en las latitudes a las que se encuentran estas ciudades, admite un gran número de variantes, y que a partir de ellas es difícil saber si una orientación fue elegida por razones religiosas o prácticas. En esta misma publicación aportó información topográfica de un total de 14 sitios (dos centuriaciones, dos campamentos y diez ciudades), de los cuales sólo la centuriación de los alrededores de *Augusta Raurica*, que no la ciudad, estaba orientada en el sentido de los puntos cardinales (Le Gall 1975).

En la obra vitruviana se reflejan diversas opciones referidas a las orientaciones a conferir a un nuevo ente. Conocer la dirección de los vientos, para evitarlos en las calles, fue una de las cuestiones que debían tenerse en cuenta según este tratadista. Propone para ello identificar dieciséis vientos mediante la plasmación sobre el solar de una rosa de los vientos basada en las alineaciones de los cuatro puntos iniciales, los cardinales. Todo ello con la ayuda de un *gnomon* (*De Arch.* I.2). Otra causa indicada por Vitruvio era conseguir una insolación adecuada, para así hacer más agradables los foros, o determinadas dependencias como las *tabernae*, de manera que los comerciantes en invierno pudieran soportar mejor las inclemencias del tiempo (*De Arch.* V.1).

Otros autores clásicos, como Frontino, Higinio Gromático o Pseudo Higinio, también relacionan las decisiones sobre la orientación de las divisiones parcelarias rurales con cuestiones prácticas. Esto enlaza con lo escrito por Le Gall al afirmar que la orientación cardinal ideal para los trazados fue habitualmente modificada por las conveniencias del trabajo en el campo, en el que pesaron más la topografía del lugar, las pendientes, vías de comunicación preexistentes, los ríos o líneas de mar y montaña, etc. (Le Gall 1975: 309). Para lo que concierne a las centuriaciones, son varias las propuestas señaladas por los agrimensores clásicos en cuanto a ocasiones en las que se podían modificar las orientaciones de los ejes principales de esas parcelaciones. Recogidas por Rossella Filippi (1983: 125-126), señala, por un lado, la coincidencia del Decumano Máximo con una gran vía de comunicación, como la *via Aemilia* en Emilia Romagna o la *via Postumia* en Asolo (Hyg. Grom. *De lim. Cons.* 179); o bien siguiendo la longitud del terreno, "*Longitudine magri secuti*" (Hyg. Grom. *De lim. Cons.* 170). Otra posibilidad sería tomar

la orientación de la línea de costa o del pie de monte (*limites maritimi* y *limites montani*) (Fr. *De lim.* 30; Hyg. Grom. *De lim. Cons.* 168) (Rossella Filippi 1983: fig. 96); o aprovechar la pendiente del terreno para que el agua pueda drenar, como en el territorio de Piacenza (*Placentia*) y de Cesena (*Caesena*), en donde la orientación de parte de la centuriación va en el sentido de la pendiente natural de la llanura, tal como Tozzi indicó (1974: 9), ocurriendo lo mismo en los alrededores de Florencia (Hardi 1965). Como última indicación, Rossella Filippi (1983: 126) recoge que se pueda distinguir el territorio centuriado de otra pértiga adyacente (Hyg. Grom. *De lim. Cons.* 170), dando orientaciones diferentes a cada una. Esta circunstancia se observa en la retícula de la ciudad vecina a Padua (*Patavium*) y en Altino (*Altinum*) (Le Gall 1975: 305).

También se han aportado explicaciones prácticas referidas a los campamentos. Le Gall afirmó que las puertas de los campamentos no estaban orientadas a los puntos cardinales, sino que respondían a cuestiones prácticas como facilitar el acceso al agua y a los forrajes, según indica Polibio (VI.27.6; 29.7; 29.9); o que la orientación dependiera de la inclinación del terreno, pues según Pseudo Higinio (*De Mun. Castr.* 56), la *Porta Decumana* debía estar en la zona más elevada, mientras que la *Porta Praetoriase* se ubicaba en relación con la situación del enemigo. Por su parte, Vegetio (*Epitome* 1.23), sobre esa última puerta, apuntó que también podría situarse para facilitar la salida de la armada, o estar mirando hacia oriente; siendo esta la única referencia astronómica sobre la posición de las puertas (Le Gall 1975: 294).

En cuanto a la orientación práctica de las ciudades, un ejemplo claro de la adaptación de su diseño a la topografía del lugar es el de *Volubilis* (Meknes, Marruecos) (fig. 2), donde se aprecian dos orientaciones diferentes entre el sector este y oeste de su trama urbana, que se ajusta perfectamente a las curvas de nivel (Orfila *et al.* 2014b: 100, fig. 44).

Por su parte, Gottarelli, a partir del posicionamiento de los cipos del ya citado *auguraculum* de *Bantia*, propuso la posibilidad de la existencia de una regla o fórmula que determinara de manera lógico-geométrica los modos de ejecución de los designios del augur durante el ceremonial de fundación (Gottarelli 2003a: 148; Gottarelli 2003b: 152; Gottarelli 2004: 102).

Para reconocer las causas de tipo práctico que generaron determinadas orientaciones es importante analizar la combinación de datos sobre relieve, drenajes, alineaciones naturales, etc., de los entornos del lugar. Unos datos que hoy en día pueden obtenerse con toda

del CEI BioTic de la UGR) (Orfila 2011 y 2012; Orfila *et al.* 2014: 123-126; Costa y Orfila 2014), recreando para ello aparatos descritos en las fuentes literarias y experimentando directamente con ellos en el campo. Se han construido prototipos de *gnomon* y *groma* además de *metae*, *perticae* y *modulus*.

El *gnomon* es un instrumento que permite plasmar sobre un solar los ejes cardinales, representado gráficamente por diversidad de investigadores (Le Gall 1975: 304, fig. 304; Rossella Filippi 1983: 126; Chouquer y Favory 1992: 70; Haselberger 1999: 92; fig. 3; Chouquer y Favory 2001: 90, fig. 85-86; Gottarelli 2003b: 157, fig. 4). En el contexto de nuestros trabajos se han construido *in situ* varios ejemplares sobre tierra y se han creado modelos portables (fig. 3). El resultado experimental es que su uso no es complicado, pero es preferible utilizarlo en las mejores condiciones, optimizándose así su operatividad. Nos referimos a controlar el grado de insolación en el día de su uso, la verticalidad de la luz, y vigilando la precisión en su manejo

(Orfila *et al.* 2014: 125, fig. 60). Bajo esas pautas los resultados son realmente positivos, obteniéndose una impresionante precisión en la alineación de los ejes norte-sur, este-oeste (Costa y Orfila 2014).

Se trata de un instrumento sencillo descrito por Vitruvio (*De Arch.* I.VI.44 o VII.12) e Higinio Gromático (La. 188.17-189.15 = Th. 152.7-22 o *De lim. cons.* 170. 3-8, La=135, 1-6 Th), entre otros, que sólo necesita de una varilla (*skiatheras-sciotherum*), clavada verticalmente en el centro de una circunferencia dibujada sobre una superficie previamente nivelada. La sombra proyectada por la varilla es cambiante a lo largo del día. Gracias a ese movimiento, en dos ocasiones su longitud es coincidente con el radio de la circunferencia. Marcados esos dos puntos sobre el círculo, uno señala el este, mientras el otro el oeste, siendo su perpendicular, obtenida mediante bisectriz y alineándola con la varilla central, la línea norte-sur, el meridiano (Orfila *et al.* 2014: 125, fig. 60). Esta línea se corresponde con el *cardo*, la línea que va de polo a polo, o el vértice en el cielo



Figura 3. Prototipo de *gnomon* del Proyecto SOTOER, creado en el Parque de las Ciencias de Granada.

(Dilke 1971: 87), eje solar también citado por los augures como la línea antigua (Rosada 1991: 91).

El otro instrumento básico es la escuadra óptica, conocida habitualmente como *groma*, con la que se podía llevar a cabo una operación goniométrica muy precisa. Estaba compuesta principalmente por una sujeción, una varilla (*ferramentum*) clavada en la tierra, y un posible brazo móvil del que se sujetaba una alidada (la *groma* en sí), formada por dos varillas perpendiculares (*cormiculae*), de los que colgaban cuatro plomadas (*perpendicularum*) sujetas por unos hilos, más una quinta que pendía del centro de la cruz. Con la ayuda del *umbilicus soli* se conseguía la *perpendere*, que la alidada estuviera bien dirigida y nivelada, tal como *Nypsius* y Frontino repitieron en sus escritos (Roth-Congès 1996: 307-314, figs. 5 y 6). De este instrumento se han publicado diferentes representaciones, como las de Adam (1982 y 1984) o Lewis (2001: 120-133). Aunque no queda claro su origen, Belmonte ha propuesto que el símbolo que identifica a la diosa egipcia Seshat, responsable de la ceremonia del “tensado de la cuerda” y asociada a la arquitectura, podría ser la representación de un instrumento prelude de la *groma* (Belmonte 2012: 115-126).

Su funcionamiento se basa en la prolongación de un plano vertical, marcado por las cuerdas que sostienen las plomadas de los extremos de la *cormicula*, pudiendo así definir líneas rectas, perpendiculares entre sí. Para su perfecta utilización, hay que tener presente que el empleo de las cuerdas de las que penden las plomadas para señalar alineaciones, provoca un efecto que en óptica recibe el nombre de “viñeteo”, y que debió sufrir cada gromático o *limitator*. El grosor de las cuerdas, aunque sea lo más reducido posible, produce, en su proyección, un ocultamiento, que aumenta con la distancia. Así, dos cordeles de 1 mm de grosor separados 1 m entre sí, pueden producir una ocultación visual de hasta 20 cm a una distancia de 100 m. Circunstancia que traducida a la práctica supone que, a partir de una determinada distancia, la meta (de 5 cm de diámetro), no resulta visible pues queda oculta tras las cuerdas. Problema que no se pudo corregir hasta que se aplicó la óptica sobre los aparatos de topografía, hecho que no ocurrió hasta períodos históricos posteriores al mundo romano. Quedan claras, por tanto, las restricciones visuales de este aparato. Ya lo recordó Dall’Aglio (2004): la perfección de los trazados en época romana debe buscarse hasta cierto punto.

Adam (1982 y 1984) llevó a cabo varias pruebas con la recreación de una *groma* y un *chorobates*, analizando así la problemática del trabajo en llano frente



Figura 4. Prototipo de *groma* elaborada dentro del Proyecto SOTOER 2.

al terreno más abrupto. En cuanto a la *groma*, debe decirse que es eficaz en distancias cortas, siendo seguramente lo más operativo utilizar simultáneamente diferentes *gromae* (Adam 1982), trasladándolas continuamente de estación (Chouquer y Favory 2001: 79), e ir ajustando las alineaciones desde la línea de referencia a través de triángulos pitagóricos. El ejemplo que da Adam (1984) sería la consecución de un *actus quadratus* de 120 pies de lado, con una diagonal muy cercana a los 170 pies, en concreto 169,7 pies. También indica que se podrían ajustar las centuriaciones, en esos casos si fueran estándar, con una diagonal de 3.400 pies. Las pruebas que nosotros hemos realizado con una *groma* recreada permiten indicar que las distancias alcanzadas, con aporte de precisión, en principio no superan mucho más de 90 metros, pudiendo alcanzar los 140, con menos exactitud, poniendo detrás de la *metae*, algo oscura, que se utiliza como jalón, un fondo blanco, o con cordeles oscuros y muy finos (fig. 4).

El alcance del instrumental parece coincidir con los módulos de medidas de superficie empleados para la división del terreno en época romana (Salvatori 2006; Chouquer y Favory 2001: 75-77). Los 120 pies de lado de un *actus quadratus*, unos 35,5 m, son una medida que se puede obtener con el máximo de ajuste. El doble, que correspondería a un *iugerum*, estaría al límite de lo alcanzable por la vista utilizando una *groma* con precisión, unos 71 m, equivalentes a 240 pies. Dado que este instrumento, como se ha dicho, funcionaba ubicándolo en el centro de un cruce perpendicular de alineaciones, quiere decir que el alcance total se multiplica por dos, uno a cada lado del aparato, alcanzando en ese caso la superficie romana de un *heredium*, un cuadrado de 240 por 240 pies (cuatro *actus quadratus*), equivalentes a 71,04 metros de lado, correspondiente a una superficie de unos 5.000 m².

Cuando en las fuentes escritas se hace referencia a medidas de superficies de fincas o repartos de parcelas en una *deductio*, éstas suelen contabilizarse en *iugera* o *heredia*. Basten como ejemplos los escritos de Ausonio, donde relata la superficie de sus dominios, todos en *iugera* (*Escritos personales* XII.2); o la *sortio* de la colonia de *Ilici*, donde la lectura hecha de la placa de bronce hallada en 1996, indica que a cada veterano le correspondieron trece *iugera*, distribuidas en dos lotes de 6,5 (Mayer y Olesti 2001; Guillaumin 2002; González Villaescusa 2002 y 2008). En el caso de los contextos urbanos, es cada vez más frecuente la identificación del tamaño de las manzanas con el *actus quadratus* o sus múltiplos, caso de Ampurias (Mar y Roca 1998: 115), Córdoba (Ventura 1999: 60), Écija (Felipe y Márquez 2014: 161) o Zaragoza (Beltrán 1993: 97).

3.2. Líneas generadoras

Como ya se ha señalado, fueron causas simbólicas o prácticas las que llevaron a que determinados trazados no cumplieran el principio de que sus ejes se orientaran a los puntos cardinales. Una cuestión son las causas que llevaron a ese desvío, otra que este fuera plausible en la práctica. En cualquiera de los dos casos se necesitará tener una línea generadora desde la cual llevar a cabo la obra. Y debe tenerse en cuenta el procedimiento de ejecución, que está en función de las posibilidades del instrumental que se utilizó. Es el caso, por ejemplo, del alcance de la *groma*, que implicaba tener que ir cambiándola reiteradamente de lugar, haciendo necesario en cada uno de esos movimientos ajustar de nuevo la alineación, siempre en relación a su línea generadora

del trazado. Todo ello hace que se plantee la propuesta, coincidente con la insinuada por Chouquer y Favory (2001: 79-80), de que la línea generadora debió ser básicamente el meridiano. Aunque hubo otras opciones, la realidad es que la comodidad de su localización gracias al uso del *gnomon*, repetible todas las veces que sea necesario y en diversidad de sitios, hace que esa sea una de las más prácticas (Orfila 2012; Orfila *et al.* 2014: 123-126), y se podría decir que la única cuando las longitudes de los trazados, como ocurre en Túnez, alcanzan los 200 km (Chouquer y Favory 2001: 80), pues no hay otra que reúna las condiciones de servir de referencia en kilómetros de distancia.

En este sentido, la propuesta del uso del *gnomon* para determinar los ejes cardinales es mucho más práctica que utilizar los equinoccios, dado que su efecto de señalar en el horizonte el este y el oeste en el momento del orto y puesta del sol, solo se produce dos veces al año. Si se operase de esta manera, a la hora de comprobar si era correcto el alineamiento, dado que la línea de referencia sería ese rayo de sol en el horizonte en ese día concreto, se debería tener que esperar seis meses para poder volver a tomar la referencia exacta desde la línea generadora, opción nada operativa ¡y eso si ese día no estuviese nublado!

El uso de esa alineación no fue algo casual, fue más bien causal. Y se basa en una realidad conocida desde época antigua: la casi inalterabilidad de la visualización del sol desde la Tierra, frente al cambio de otros astros en el firmamento (Aveni y Romano 1994a: 555).

3.3. La técnica de la *varatio*

Lo que se propone aquí es calibrar ese desvío mediante el uso de triángulos. Un modo coincidente con la técnica de la *varatio*, diseñar a partir de la diagonal, utilizada en el momento de tener que aportar a una planificación urbanística una orientación diferente de la que tuviera la línea generadora. Descrita por *Nypsius* en *Fluminis varatio* y *Limitis repositio* (La. 285.1-295.15; Bouma 1993), citada por Clavel-Levêque (1992) y analizada por Bouma (1993), fue Anne Roth-Congès quien realizó un estudio exhaustivo de la misma (Roth-Congès 1996 y 1998). Quienes han estudiado este procedimiento indican que fue presentado por *Nypsius* para hacer comprobaciones de la correcta alineación de *limites* de centuriaciones existentes, ya fuese para proponer orientaciones diferentes en relación a parcelarios rurales ya preexistentes, como para dirimir litigios entre vecinos, recolocar los mojones desaparecidos y los

límites borrados, etc. Dado que el conjunto de textos gromáticos es resultado de una operación ordenada por Vespasiano, debido a la pérdida por incendio de los archivos en donde se depositaban los documentos y los planos *-formae-* de las centuriaciones existentes (Chouquer 2004: 44), parece lógico plantear que esta técnica era conocida y aplicada con anterioridad a la redacción de ese texto y no sólo para hacer comprobaciones, también para iniciar nuevas infraestructuras.

Al estar la *varatio* basada en el uso de triángulos rectángulos (Roth-Congès 1996 y 1998; Chouquer y Favory 2001: 83-85; Equipo Sotoer 2014), y teniendo en cuenta que, como se ha propuesto, los ejes cardinales son las líneas de referencia más prácticas desde las que ejecutar una obra, en este procedimiento los ejes cardinales se convierten en catetos, sobre los que se marcan valores en unidades (los catetos con valores como 1/1, 2/3, 3/5, etc.) (fig. 8, 3a y 3b), aportando su hipotenusa la nueva orientación (fig. 5). Para ello el instrumento base a utilizar debió ser la *groma*, trasladada sobre la hipotenusa (el nuevo eje) y colocándose ahí el *locus gromae* de la división cuadrangular. En la tabla 2 pueden observarse las diferentes orientaciones posibles, calibradas en grados, a partir de la combinación de diferentes fracciones. Tabla semejante y ampliada en relación a las presentadas por Guy (1993: 63, fig. 6) y Peterson (1992: fig. 4). Las posibilidades de operar con fracciones se aprecian en el abanico de la figura 6. Se

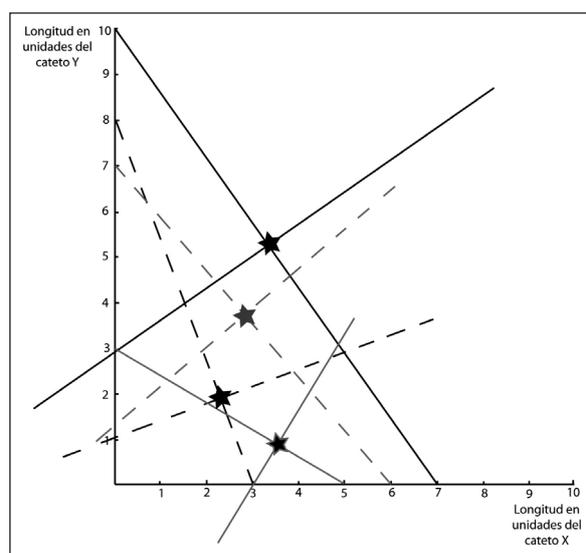


Figura 5. Diferentes ejemplos de *varationes* y sus perpendiculares.

presentan las opciones de dos cuadrantes (180°), aunque, dada la simetría de las figuras ortogonales, con los valores de 1/8 de cuadrante (45°) es suficiente para llevar a cabo la calibración.

Esas correlaciones entre valores en grados y fracciones se pueden calcular hoy a través de una simple función trigonométrica. El punto inicial es el centro

Tabla 2. Ejemplos de *varationes* y su correspondencia en grados.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	45,00°	26,57°	18,43°	14,04°	11,31°	9,46°	8,13°	7,13°	6,34°	5,71°	5,19°	4,76°
2	63,43°	45,00°	33,69°	26,57°	21,80°	18,43°	15,95°	14,04°	12,53°	11,31°	10,30°	9,46°
3	71,57°	56,31°	45,00°	36,87°	30,96°	26,57°	23,20°	20,56°	18,43°	16,70°	15,26°	14,04°
4	75,96°	63,43°	53,13°	45,00°	38,66°	33,69°	29,74°	26,57°	23,96°	21,80°	19,98°	18,43°
5	78,69°	68,20°	59,04°	51,34°	45,00°	39,81°	35,54°	32,01°	29,05°	26,57°	24,44°	22,62°
6	80,54°	71,57°	63,43°	56,31°	50,19°	45,00°	40,60°	36,87°	33,69°	30,96°	28,61°	26,57°
7	81,87°	74,05°	66,80°	60,26°	54,46°	49,40°	45,00°	41,19°	37,87°	34,99°	32,47°	30,26°
8	82,87°	75,96°	69,44°	63,43°	57,99°	53,13°	48,81°	45,00°	41,63°	38,66°	36,03°	33,69°
9	83,66°	77,47°	71,57°	66,04°	60,95°	56,31°	52,13°	48,37°	45,00°	41,99°	39,29°	36,87°
10	84,29°	78,69°	73,30°	68,20°	63,43°	59,04°	55,01°	51,34°	48,01°	45,00°	42,27°	39,81°
11	84,81°	79,70°	74,74°	70,02°	65,56°	61,39°	57,53°	53,97°	50,71°	47,73°	45,00°	42,51°
12	85,24°	80,54°	75,96°	71,57°	67,38°	63,43°	59,74°	56,31°	53,13°	50,19°	47,49°	45,00°

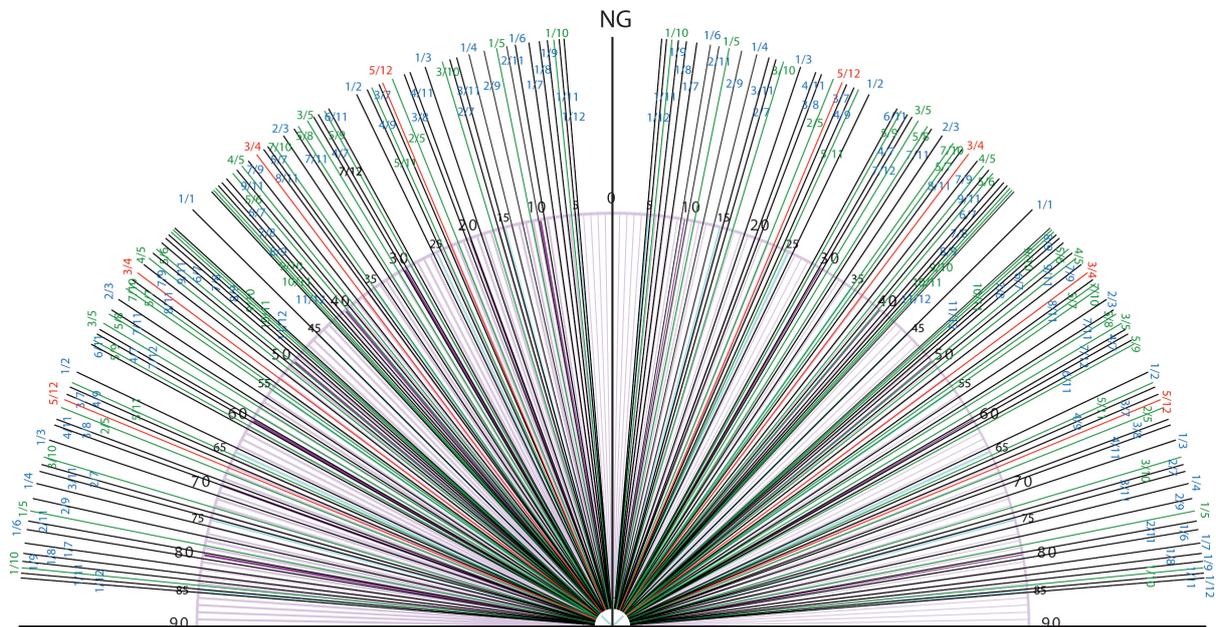


Figura 6. Abanico representando la equivalencia en grados de las fracciones de *varaciones*. (47 orientaciones por cuadrante, 188 en total). En rojo las *varaciones* pitagóricas; en verde las *varaciones* en 5 o 10.

de coordenadas de unos ejes cartesianos (los que señalan los puntos cardinales), en donde el eje de abscisas coincidirá con la línea que marca el este, y el eje de ordenadas con la línea que marca el norte. La función tangente de un ángulo en un triángulo rectángulo se define por: $\tan \alpha = \text{cateto opuesto} / \text{cateto contiguo}$. Si se quiere calcular el ángulo se utilizará la función inversa a la tangente: $\alpha = \tan^{-1}(\text{cateto opuesto} / \text{cateto contiguo})$. Como la suma de los ángulos de un triángulo cualquiera son 180° , y como en un triángulo rectángulo uno de sus ángulos mide 90° , la suma de los otros dos ángulos será también 90° . En la figura 7A se han reflejado: $\alpha + \beta = 90^\circ$, por lo que $\beta = 90 - \alpha$.

Con la *varatio* lo que se traza es un triángulo rectángulo en donde uno de los catetos se sitúa sobre el eje de abscisas (línea este en el ejemplo escogido), y el otro sobre el de ordenadas (línea norte). Al conocerse los catetos de este triángulo (los valores en fracciones elegidos para configurar la orientación adecuada, tal como se aprecia en las figuras 5 y 6), se puede conocer el ángulo α que forma la hipotenusa del triángulo con el eje de abscisas, lo que lleva a poder conocer también el ángulo complementario β (figura 7B). Como la hipotenusa de este triángulo pasará a conformar el nuevo eje que define la orientación de las alineaciones, su perpendicular de nuevo crea un triángulo rectángulo, del que ya se conoce uno de los ángulos agudos, el β

(figura 7C). Siguiendo ese procedimiento, fácilmente por diferencia se obtiene el ángulo que forma esa perpendicular con el eje norte, correspondiente al valor x señalado en la figura. En ese caso $x + \beta + 90^\circ = 180^\circ$, de ahí que $x = 90^\circ - \beta$.

En algunos casos, cuando los triángulos rectángulos empleados son coincidentes con ternas pitagóricas, es decir, que su hipotenusa también responde a medidas en unidades, se puede producir un nuevo modo de ejecución; en ese caso se podrían utilizar los catetos como los elementos que aportan la nueva orientación a esas alineaciones, dado que ahora será la hipotenusa la que se ubique sobre uno de los ejes cardinales, en principio el norte-sur, situando el *locus gromae* en la confluencia de los dos catetos del triángulo aplicado (Orfila 2009; Orfila y Chávez 2014) (fig. 8, 2a-2b). A este procedimiento le denominamos “por ternas pitagóricas”. En estos casos, al producirse esa coincidencia, es factible conseguir la figura geométrica simplemente con un cordel, lo que se denominaba comprobaciones *pro hipotenusa* (Guy 1993: 59 y 62; Pérez 1995: 51-52), un modo representado por Higinio Gromático en la explicación del uso de la *groma –ad perpendicularum–* y de las *metae* (La. 192, 7-193) (Chouquer y Favory 1992: 82).

Este modo de operar sigue las indicaciones que Pierre Gros dio en su trabajo de 1976, en donde señaló

que el modo de cálculo en época romana de determinados ejercicios no podía realizarse con precisión, de ahí que los números irracionales se representaran con valores de aproximación, a través de las fracciones, como hace Platón, para dar el valor de la raíz cuadrada de 2 (1,4142), presentándolo como “7/5” (Assénat 2006: 84). De hecho Peterson (1992) ya indicaba que los romanos, en todo tipo de cuentas, escribían, y puede que también hablaran, utilizando fracciones. A fin de cuentas es la aplicación del Teorema formulado por Pitágoras, ya detectado en la Tablilla Plimpton 322, procedente de Babilonia y fechada sobre el 1800 a.C., en donde se identifican una relación de 15 filas de números enteros, que reflejan una serie de “ternas pitagóricas” (Strathern 1999: 32); es decir, triángulos rectos en los que sus tres lados se contabilizan en números enteros, y que responden a la formulación $a^2 + b^2 = c^2$. Schlikker señaló que las ternas 3:4:5 y 5:12:13 fueron utilizadas para diseñar grandes obras en Grecia desde época arcaica, mencionando también la terna 48:55:73 como manejada en época clásica (Schlikker 1940: 53-54). De hecho Clavel-Levêque ya dijo que pudiera ser que los agrimensores utilizaran unas tablas con las fórmulas y las equivalencias (Clavel-Levêque 1992: 175).

Este juego de fracciones es citado por Clavel-Levêque en 1992, en relación a la armonía conseguida en la centuriación de Biterrois y sus relaciones geométricas en su conexión con la vía consular, conformando figuras de triángulos rectos de relaciones en fracciones 5:5, 3:2, 2:1, etc., diferentes según tramos. O lo que Peterson denominó la consecución de las diagonales (Peterson 1992: 186-191). Ejemplo significativo son las cuadrículas parcelarias de la zona de Béziers (Languedoc, Francia), en donde se aprecia una articulación con la vía que la atraviesa a través de diagonales según diversos ángulos, determinados por un número redondo de centurias, con ratios 1/1, 1/2, 3/5... (Chouquer *et al.* 1983; Roth-Congès 1996: 301), es decir, en fracciones. Pérez, en su análisis sobre la relación entre la vía Domiciania y parcelarios ubicados a lo largo de la misma, precisa más, indicando diferentes relaciones de desvíos: 1:1 en la centuria Béziers D; 1:2 en la de Béziers E; 3:4 en Béziers B y 3:8 en Béziers A (Pérez 1990: 34 y 1995: 53). Otros ejemplos se han documentado en la Narbonense (Pérez 1996, Assénat 2006), Gran Bretaña (Ferrari y Richardson 2003), Túnez (Decramer y Hilton 1998), o en los de la antigua colonia de *Arausio* (Orange) (Decramer *et al.* 2003 y 2006).

Welfare y Swan (1995) afirmaron que una serie de campamentos militares de Inglaterra compartían una

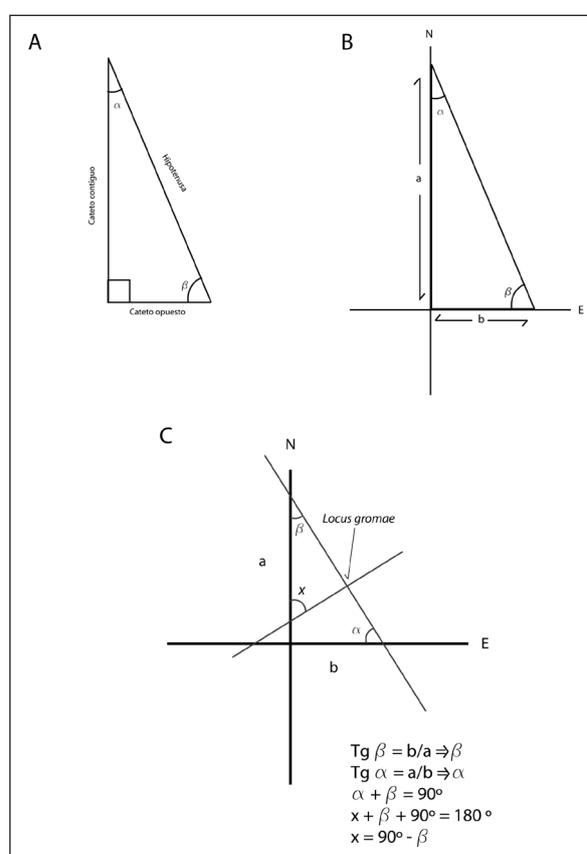


Figura 7. Aplicación del método de la *varatio* a partir del eje meridiano.

idéntica orientación debida al relieve de la zona y a la existencia de vías cercanas a los mismos. Richardson, al analizar 67 de ellos, apreció una variabilidad, proponiendo que el desvío se había conseguido utilizando triángulos de ángulo recto, en los que los valores de los catetos fuesen unidades 2/3, 3/4, 2/5, que miden la diferencia de orientación con respecto a su línea generadora, el meridiano (Richardson 2005: 418). Richardson indicó que esa misma lectura se podía hacer sobre campamentos de la península ibérica, en concreto de los de Renieblas IV (a 8°, ratio 1/3); Renieblas V (a 22°, ratio 2/5), etc. (Richardson 2005: 420). Peterson consideró que la coincidencia de orientaciones no fue debida a la aplicación de una misma técnica y con unos mismos criterios, siendo el azar en parte el culpable de las mismas (Peterson 2007: 106).

Dentro del Proyecto I+D+i SOTOER hemos llevado a cabo chequeos sobre planimetrías ya publicadas. Así, en las comprobaciones realizadas se han podido detectar errores al plasmar el norte sobre el

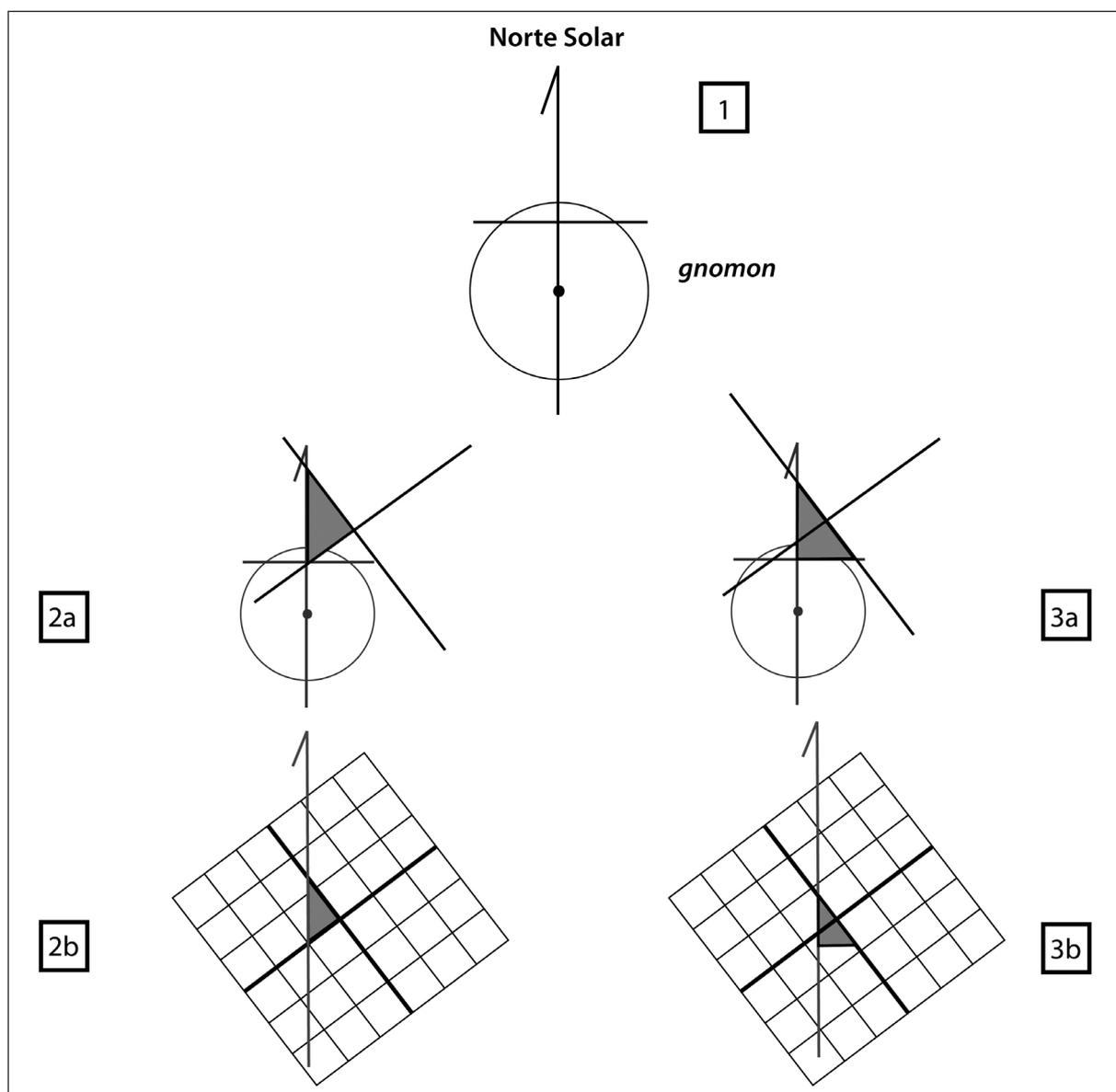


Figura 8. Proceso de implantación de una orientación sobre el terreno utilizando el método de las “ternas pitagóricas” (2a-2b) y el de la *varatio* (3a-3b).

plano (Orfila 2012; Orfila y Chávez 2014), algo que ya advertía Le Gall en 1975, como también Romano (1991: 24-26). Al mismo tiempo, se ha realizado experimentación *in situ* en yacimientos arqueológicos, localizando la línea norte a través de un *gnomon* (Orfila 2011; Costa y Orfila 2014: 129-133). Todo ello nos ha permitido presentar otra serie de ejemplos en los que se identifica que sus alineaciones pudieron ser calibradas a través de fracciones, coincidentes, en algunos casos, con ternas pitagóricas.

Entre las llevadas a cabo sobre planimetría cabe destacar el caso de la ciudad de *Mileto*, símbolo de la planificación ortogonal debido a la reforma realizada por Hipódamo a inicios del siglo V a.C., donde se ha identificado un desvío con respecto al norte solar de 22.5° (Haselberger 1999: 93), muy cercano al empleo de la terna pitagórica 5:12:13 (Orfila *et al.* 2014b: 103, fig.46). Esa misma lectura se haría sobre la ciudad de Pérgamo en su ampliación bajo Eumenes en el siglo III a.C., pues su orientación se calibra entre 23° y 25°

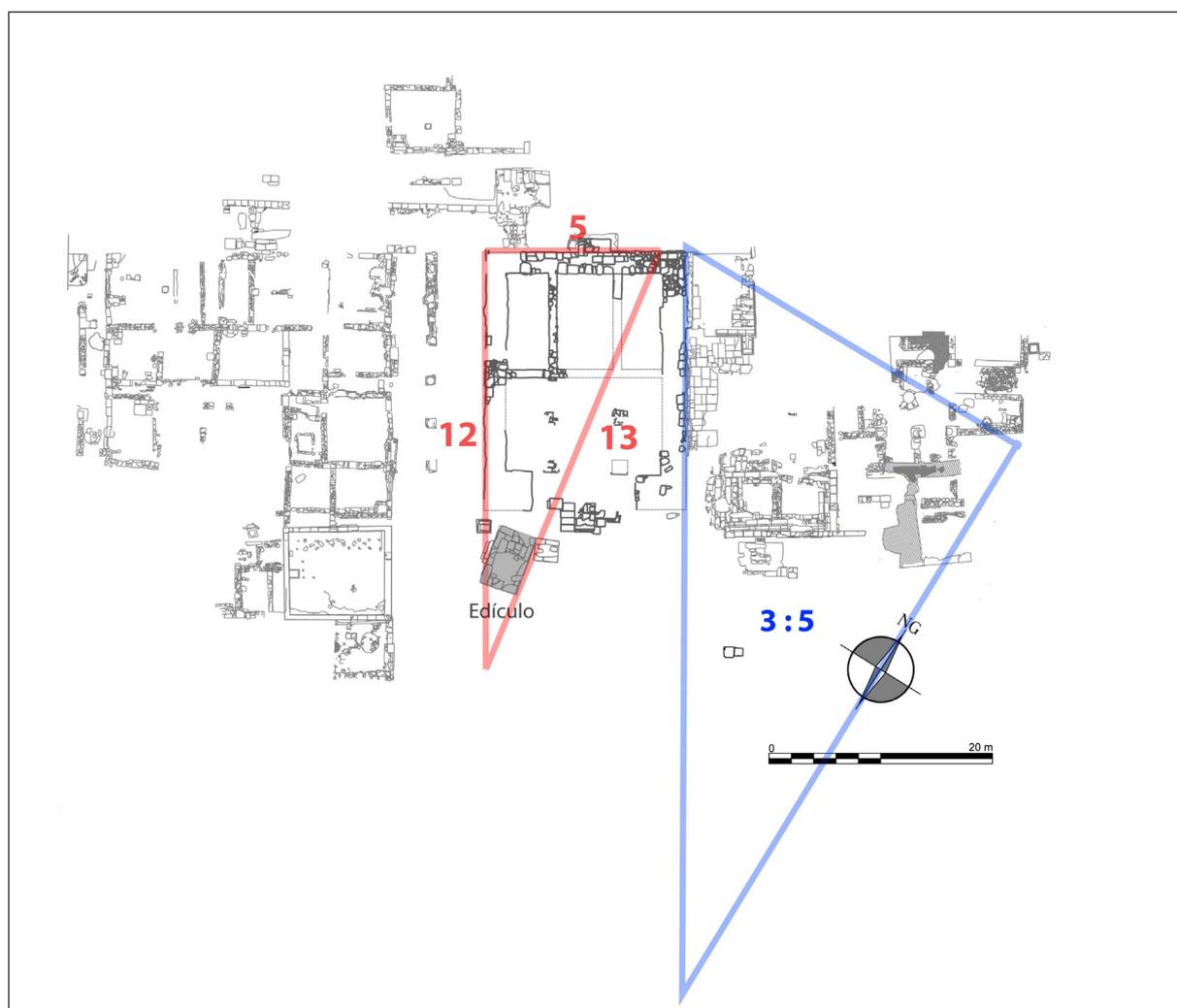


Figura 9. Relación del edículo y los edificios del foro, y de estos con el meridiano, en *Pollentia*.

(Haselberger 2007: 44). La alineación de Alejandría, citada con anterioridad como ejemplo de ciudad simbólica, se sitúa a unos 65° (Haselberger 1999: 93; Ferro y Magli 2012: 386). Dado que la perpendicular de esa alineación coincide con el grado 337.5 , se puede calibrar con la terna pitagórica $5:12:13$, pues corresponde al valor de 360° menos 22.5 . En las planimetrías de *Barcino* o la parcelación en torno a *Ebora*, su orientación parece coincidir con la opción de haber aplicado la terna $3:4:5$ (Orfila *et al.* 2014: 106). En *Thugga* (Túnez), el templo B se orienta siguiendo la ratio $3:5$, en lectura de terna $3:4:5$, mientras que la casa del *Trifolium* tiene una ratio $5:12$, correspondiente a la terna $5:12:13$ (Orfila *et al.* 2014b: 105, fig. 49 y 48). Valores en grados identificados en el monumento de Nemrud Dag (Belmonte y

García 2010), se corresponden con valores en fracciones: $3:8$, $5:9$, $7:11$. Revisado el estudio estadístico llevado a cabo por Magli sobre las orientaciones de 38 ciudades romanas en Italia, del que concluyó el carácter no aleatorio de las mismas (Magli 2008: 67, tab. I), podemos indicar que en la mayoría de los casos los grados de esas orientaciones se corresponden con el resultado de fracciones (Orfila *et al.* 2014: 106). Y lo mismo ocurre con el santuario de la ciudad de *Nertobriga* (Berrocal-Rangel *et al.* 2014), con las siguientes correspondencias: $4^\circ 05' = 1:12$; $14^\circ = 1:4$; $104^\circ = 1:4$; $28^\circ 60' = 6:11$; y $122^\circ 50' = 7:11$.

En las experimentaciones sobre yacimientos hispanos se han identificado relaciones similares (tabla 3). La relación entre la orientación de sus estructuras y el

Tabla 3. Resultado de las experimentaciones realizadas en diversos yacimientos

Yacimiento y localización del experimento	Fecha del experimento	Tipo de gnomon	Medidas de la circunferencia y altura varilla	Relación del Norte con la orientación de las estructuras
Ciudad romana de <i>Clunia</i> (Peñalba de Castro, Burgos): área del foro junto a la basílica.	14-17 de julio de 2010.	Gnomon de obra. Superficie nivelada: 4 m ² . Tierra blanquecina ajustada en una caja de madera, fácil de compactar y nivelar.	Diámetro de la circunferencia: 2 m. Altura de la varilla: 1 m.	Situada la hipotenusa de un triángulo 3:4:5 sobre el norte, girados los catetos hacia el este, con el cateto de valor 3 mirando hacia el sur (Orfila <i>et al.</i> 2014: 162 y 164, figs. 77 y 78).
Ciudad romana de Torreparedones (Baena, Córdoba): zona al oeste del <i>macellum</i> .	14 y 15 de mayo de 2011.	Gnomon de obra. Superficie nivelada: 2,5 m ² . Tierra de la zona, sobre ella una capa de cemento.	Diámetro de la circunferencia: 1,60 m. Altura de la varilla: 80 cm.	En este caso las estructuras se orientan al norte. Con el apoyo de un triángulo múltiplo de 3:4:5 se trasladó sobre el <i>gnomon</i> la alineación de una de las estructuras de la zona cercana al foro de Torreparedones. Como consecuencia se pudo comprobar que alineado el cateto de valor 3 al norte y el de valor 4 con dirección este-oeste, la estructura de muro n.º 547 del <i>macellum</i> de Torreparedones es perpendicular al eje norte-sur, mientras el muro 547 discurre paralelo al eje este-oeste. Por tanto, la orientación de esta zona del foro de Torreparedones está alineada al norte solar (Orfila <i>et al.</i> 2014: 180, fig. 84).
Ciudad romana de Itálica - <i>Nova Urbs</i> (Santiponce, Sevilla): junto a una intersección de calles cercanas a las termas.	10 y 11 de junio de 2011.	Gnomon de obra. Superficie nivelada: 2,5 m ² . Tierra amarillenta, albero, fácil de compactar y nivelar.	Diámetro de la circunferencia: 2 m. Altura de la varilla: 90 cm.	Ópticamente daba la impresión de que la orientación estaba cercana al 3:4:5, pero se comprobó que no coincidía exactamente. Se volvió a repetir el experimento en otras zonas de la ciudad.
Poblado ibérico de Puente Tablas (Jaén): zona central de la estructura urbana modulada.	20 de junio 2011.	Gnomon de obra. Superficie nivelada: 4 m ² . Tierra blanquecina ajustada en una caja de madera, fácil de compactar y nivelar.	Diámetro de la circunferencia: 2 m. Altura de la varilla: 90 cm.	Situada la hipotenusa de un triángulo 5:12:13 sobre el norte, girados los catetos hacia el oeste y el de menor valor hacia el norte (Orfila <i>et al.</i> 2014: 187, fig. 86).
Ciudad romana de <i>Pollentia</i> (Alcudia, Mallorca): en la plaza del foro, frente al capitolio y al norte del edículo 3.	16 de junio; repetido en agosto 2011.	Gnomon de obra. Superficie nivelada: 2,5 m ² . Capa de arena gruesa, capa de arena fina de obra y por último, una capa de cemento blanco para compactar.	Diámetro de la circunferencia: 1,80 m. Altura de la varilla: 90 cm.	Tal como se ha indicado en el capítulo correspondiente, <i>Pollentia</i> se sitúa en relación al norte solar en una <i>ratio</i> identificada a través de la <i>varatio</i> de 3:5 (Orfila <i>et al.</i> 2014: 79, fig. 26).

Yacimiento y localización del experimento	Fecha del experimento	Tipo de gnomon	Medidas de la circunferencia y altura varilla	Relación del Norte con la orientación de las estructuras
Ciudad romana de <i>Salmisera</i> (Sa Nitja, Menorca): sobre estructuras tardías, con enterramientos en sus alrededores.	23 de julio de 2011: no factible, nube en el momento del 2º clavo. 4-8 de septiembre de 2011: se consigue tomar los 2 puntos el día 8.	Primer gnomon portátil. Tabla en madera de tablero de barco de 1 m ² .	Diámetro de la circunferencia: 1 m. Altura de la varilla: 1 m. Varilla de roasca situada en la parte central de la tabla.	Situada la hipotenusa de un triángulo 3:4:5 sobre el norte, girados los catetos hacia el este y el de menor valor hacia el norte (Orfila <i>et al.</i> 2014: 168, fig. 79).
Ciudad romana de <i>Valeria</i> (Las Valeras, Cuenca): en la zona del foro.	Agosto de 2011.	Segundo prototipo de gnomon portátil. Sobre tablero de conglomerado.	Diámetro de la circunferencia: 2 m. Altura de la varilla: 1 m. Varilla situada en una esquina del tablero.	La orientación de este espacio público de <i>Valeria</i> se consigue gracias a la conjugación de ambas temas: colocando un 5:12:13 con hipotenusa sobre el norte, con los catetos hacia el oeste y el corto hacia el norte, el cateto de valor 12 será la línea de referencia sobre la cual se coloca la hipotenusa del triángulo 3:4:5, con los catetos también hacia el oeste y el de menor valor hacia el norte. Estos últimos catetos aportan la orientación de las estructuras del foro (Orfila <i>et al.</i> 2014: 172, figs. 80 y 81).
Ciudad romana de <i>Itálica - Nova Urbs</i> (Santiponce, Sevilla): Casa del Planetario.	19 de marzo de 2012.	Tercer prototipo de gnomon portátil. Sobre horma y con metacrilato. Engranaje para localizar automáticamente, mediante biseatriz, el norte.	El diámetro que se consigue con este aparato con horma semicircular y ahuecada en el centro, es de 2 m. La varilla, como tiene una señal móvil, se ajusta subiéndola o bajándola.	Combinación de ambas temas: un 5:12:13, con su hipotenusa en el norte y los catetos orientados hacia el oeste, estando el cateto de valor 5 hacia el sur. A la hipotenusa de éste se adosa la de un triángulo 3:4:5, con sus catetos orientados hacia el oeste y con el cateto de valor 3 hacia el sur. Son los catetos de este último los que marcan las orientaciones (Orfila <i>et al.</i> 2014: 176, fig. 82).
Ciudad romana de <i>Itálica - Ietus Urbs</i> (Santiponce, Sevilla): Termas Menores.	19 de marzo de 2012.	Tercer prototipo de gnomon portátil. Sobre horma y con metacrilato. Engranaje para localizar automáticamente, mediante biseatriz, el norte.	El diámetro que se consigue con este aparato con horma semicircular y ahuecada en el centro, es de 2 m. La varilla, como tiene una señal móvil, se ajusta subiéndola o bajándola.	Se utilizó un triángulo 5:12:13, con los catetos hacia el este, siendo el de valor 5 el que está hacia el sur (Orfila <i>et al.</i> 2014: 177, fig. 83).

norte solar basada en la terna pitagórica 3:4:5 ha sido observada en *Clunia* y *Sanisera*. En el yacimiento ibérico de Puente Tablas y en la *Vetus Vrbs* de *Italica*, la relación se basa en la terna 5:12:13, mientras que en otros casos la variación ha sido calibrada en base a la combinación de las dos ternas pitagóricas (3:4:5 más 5:12:13), como sucede en *Valeria* y la *Nova Vrbs* italiense (Sánchez y Marín 2014; Orfila *et al.* 2014d).

En la experimentación llevada a cabo en Cartagena en la zona del teatro, se pudo comprobar un desvío correspondiente a la fracción 5:9, que corresponde a unos 61°. Por último, la ciudad de *Pollentia*, en donde se empezó esta investigación, presenta una relación dentro del modo de operar de “ternas pitagóricas”, con respecto a un edículo que está en la plaza forense, que se puede calibrar mediante el uso de la terna pitagórica 5:12:13 (Orfila 2009; Orfila *et al.* 2014c: 90, fig. 37), pero la relación de la alineación de la estructura urbana en sí con respecto a la línea generadora, el meridiano, es una *varatio* 3:5, correspondiente a un desvío del norte de 30.96° (Equipo Sotoer 2014: 78, fig. 26), tal como se aprecia en la figura 9.

4. CONCLUSIONES

Ritualidad y simbolismo son cuestiones inherentes a la creación de un nuevo ente en el mundo antiguo. En este escrito nos hemos referido a algunos ejemplos de los muchos que se podrían poner, en los que se expresan este tipo de interpretaciones a las orientaciones de infraestructuras. Frente a ese hecho está otra cuestión, la de la ejecución de los proyectos diseñados, que es el tema que realmente se quiere transmitir aquí. Una cosa es, tal como indicó Vitruvio, lo significado, y otra lo que significa; es esta segunda parte en donde nos hemos centrado, pues consideramos que quien debía plasmar sobre el terreno la obra, necesitaba de medios y modos para poder llevarla a cabo. Para ello se ha tenido presente el alcance del instrumental de la época y los conocimientos de quienes manejaban esos aparatos, los *gromatici*, los agrimensores, que toman el nombre de uno de sus instrumentos, la *groma*. Proponemos aquí un sistema de ejecución que es, además, homologado. El alcance de la escuadra óptica ha sido chequeado experimentalmente, siguiendo una línea que otros antes ya habían iniciado, como fue el caso de Adam, citado más arriba. En lo que concierne a las pruebas hechas *in situ*, tal como se ha escrito en párrafos anteriores, su alcance hace imprescindible cambiar de estación cada centenar de metros más o menos. Nosotros consideramos que

debieron ajustarse, en época romana, a sus propias medidas de superficie, como es la longitud del lado de un *heredium*, 240 pies, que si son romanos equivalen a una distancia de unos 71 metros, adecuada a las posibilidades de la *groma*. La necesidad de cambio de ubicación de este aparato implica tener que ajustar en cada momento la alineación de sus brazos, y eso, consideramos, es plausible con la ayuda del uso del *gnomon*. De nuevo, la comprobación empírica del uso y función del mismo nos permite poder hablar de sus posibilidades, de la facilidad de uso, y de la perfección de los datos que proporciona: los ejes cardinales, que son, en principio, la base de la línea generadora de la mayoría de los procedimientos de ejecución de trazados ortogonales: dos líneas que se cruzan perpendicularmente, coincidentes también en algunos casos, con determinadas alineaciones simbólicas, dado que proporcionan unas referencias cosmológicas muy importantes.

Al trabajar en tramos, y dado el paso del tiempo, es plausible que se detecten actualmente pequeñas anomalías entre las orientaciones de cada uno de ellos. Ello hace que, al calibrar las evidencias arqueológicas mediante nuestros modernos aparatos topográficos, deba tenerse en cuenta un pequeño margen de error de alrededor de 1°. Aún así, el resultado final de las urbanizaciones son alineaciones perfectamente orientadas.

La explicación, por parte de *Nypsius*, de la técnica de la *varatio*, es la base de la metodología propuesta. Una línea de investigación que se inició en la ciudad romana hispana de *Pollentia* (Alcudia, Mallorca), y debido a la identificación de un edículo ubicado frente al Capitolio. Esta pequeña construcción foral había sido considerada como el *auguraculo* de la urbe (Mar y Roca 1998). Hipótesis hoy descartada, tanto por su tamaño, como por estar desviado del norte más de 9° (Orfila y Chávez 2014: 115, fig. 55). De esta estructura llamaron la atención sus medidas, que desglosadas en pies romanos son un juego de triángulos correspondientes a las dos ternas pitagóricas más bajas (Orfila y Moranta 2001: 232; Orfila *et al.* 2014: 89-91, fig. 35). Una pequeña estructura que está desorientada en su alineación con respecto al resto de edificios de la trama urbana, desviación medible con la terna pitagórica 5:12:13 (Moranta 2004). Ese hecho fue el acicate para empezar a trabajar en cuestiones referidas a la problemática de la interpretación de la orientación de infraestructuras en época romana, desde la vertiente del procedimiento de ejecución de las mismas.

Consideramos que ritualidad y simbolismo caminan en paralelo con el procedimiento de ejecución de las obras. Así se explica cómo pudieron llevar a cabo esos

diseños, sin desorientar las alineaciones en centenares de metros, en kilómetros. Y eso era factible aplicando las bases de la técnica de la *varatio*, con la ayuda del *gnomon* y la *groma*, evitando, además, con el traslado continuo de estación y calibración con la línea norte, la problemática de la curvatura de la Tierra, que afecta de hecho a líneas rectas de gran longitud. La facilidad de localización de la línea de referencia y la precisión del instrumental, aportan a este sistema una manera de operar homologada, y con un amplio abanico de opciones.

Por otra parte, en lo chequeado hasta el momento, a la hora de analizar los grados de desvío de alineamientos de ciudades o santuarios a los que se les ha dado interpretaciones simbólicas, o de otras estructuras que responderían más a cuestiones prácticas, en ambos casos esos desvíos pueden calibrarse también a través de fracciones, es decir, a través de la *varatio*.

Agradecimientos

Esta investigación se enmarca dentro de los proyectos “La *Varatio* y sus variaciones. La homologación en el proceso del trazado y orientación de estructuras ortogonales en época romana y sus precedentes (SOTOER2)”, del Plan Nacional de I+D+i, Ministerio de Economía y Competitividad (HAR2013-41635-P) y “Un sistema para orientar y trazar las estructuras ortogonales de época romana. Su identificación en *Pollentia*, su aplicación en otros yacimientos (SOTOER)”, del Plan Nacional de I+D+i del Ministerio de Ciencia e Innovación (HAR2009-11824, Subprograma HIST), desarrollándose dentro del Grupo de investigación HUM296 de la Junta de Andalucía.

Las autoras quieren agradecer la colaboración en determinados aspectos de este trabajo a las siguientes personas: Michael Hoskin, del *Churchill College* de Cambridge; Juan A. Belmonte, del Instituto de Astrofísica de Canarias; Víctor Costa del CSIC de Granada y colaborador del Parque de las Ciencias de Granada; Andrea Rodríguez-Antón, becaria de investigación del Instituto de Astrofísica de Canarias; Sebastián Ramallo, de la Universidad de Murcia y Elena Ruiz, del Museo del Teatro Romano de Cartagena; Carmen Sintés, licenciada en Ciencias Exactas y al *Deutsches Archäologisches Institut* de Berlín. También a Purificación Marín, Mario Gutiérrez y Aránzazu Medina, del Grupo de Investigación GAECATAO; Rocío Meroño, alumna del Máster de Arqueología de la Universidad de Granada y Miguel Ángel de la Iglesia, de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Valladolid.

BIBLIOGRAFÍA

- Adam, J. P. (1984): *La construction romaine. Matériaux et techniques*. Paris, Picard.
- Adam, J.P. (1982): “Groma et chorobate. Exercices de topographie antique”. *Mélanges de l'École Française de Rome, Antiquité* 94: 1003-1029.
- Assénat, M. (2006): *Cadastré et romanisation dans la cité antique de Nîmes*. Revue Archéologique de Narbonnaise, suppl. 36. Montpellier.
- Aveni A. y Romano, G. (1994a): “Orientation and Etruscan ritual”. *Antiquity* 68: 545-563.
- Aveni, A. y Romano, G. (1994b): “Orientamenti di templi e rituali etruschi”. *Rivista di Archeologia* 18: 57-67.
- Aveni, A. y Romano, G. (2000): “Sugli orientamenti dei templi in Magna Grecia e in Sicilia”. *Rivista di Archeologia* 24: 15-24.
- Behrends, O. (1992): “Bodenhoheit und privates Bodeigentum im Grenzwesen Roms”. *Die Römische Feldmesskunst*: 192-280. Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht.
- Belmonte, J. A. (2012): *Pirámides, Templos y Estrellas*. Barcelona, Crítica.
- Belmonte, J. A. y García, C. G. (2010): “Antiochos' hierothesion at Nemrud Dag revisited: adjusting data in the light of astronomical evidence”. *Journal for the History of Astronomy* 41: 469-481.
- Belmonte, J. A. y Hoskin, M. (2002): *Reflejo del cosmos: atlas de arqueoastronomía del Mediterráneo antiguo*. Madrid, Equipo Sirius.
- Belmonte, J.A.; Tejera, A.; Perera, A. y Marrero, R. (2006): “On the orientation of pre-islamic temples of north Africa: a re-appraisal (new data in Africa proconsularis)”. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Special Issue 6-3: 73-81.
- Beltrán, M. (1993): “El teatro de Caesaraugusta. Estado actual de conocimiento”. *Teatros romanos de Hispania. Cuadernos de Arquitectura romana* 2: 93-118. Murcia, Universidad de Murcia; Colegio Oficial de Arquitectos de Murcia.
- Berrocal-Rangel, L.; De La Barrera, J.L. y Caso, R. (2014): “El santuario de *Nertobriga Condordia Iulia*: una aportación al conocimiento de los rituales de fundación”. *Journal of Roman Archaeology* 27: 83-108.
- Berrocoso, M.; Ramírez, M^a E.; Enríquez-Salamanca, J.M. y Pérez-Peña, A. (2003): *Notas y apuntes de trigonometría esférica y astronomía de posición*. Cádiz, Universidad de Cádiz.
- Blume, F.; Lachmann, K.; Mommsen, Th. y Rudorff, A. (1848-1852): *Gromatici Veteres. Die Schriften der römischen Feldmesser I-II*. Berlin, Georg Reimer.

- Bouma, J. (1993): *Marcus Iunius Nypsus. Fluminis Variatio, Limitis Repositio. Introduction, Text, Translation and Commentary*, Studien zur klassischen Philologie 77. Frankfurt/Main.
- Campbell, J.B. (2000): *The writings of the Roman Land surveyors. Introduction, Text, Translation and Commentary*, Journal of Roman Studies Monograph 9. London.
- Capone, G. (1991): “L’Orientazione solstiziale dell’antica città di Alatri”, en *Colloquio Int. Archeologia e Astronomia*: 60-65. Rivista di Archeologia, suppl. 9. Roma.
- Carandini, A. (2000): “La fondazione di Roma e la morte di Remo”, en A. Carandini y A. Capelli (eds.), *Roma, Romolo, Remo e la fondazione della città*: 256. Milan, Electa.
- Carder, J. N. (1978): *Art Historical Problems of a Roman Land Surveying Manuscript: The Codex Arcerianus A, Wolfenbüttel*. New York-London, Garland Pub.
- Castillo, M^a J. (1993): “Agrimensura y agrimensores: el *Corpus agrimensorum romanorum*”. *Hispania Antiqua* 17: 143-158.
- Chevallier, R. (1967): *Sur les traces des arpenteurs romains*, Caesarodunum, Supplément 2. Orleans-Tours.
- Chouquer, G. (2004): “Une nouvelle interprétation du *Corpus des Gromatici Veteres*”. *Agri Centuriati* 1: 44-56.
- Chouquer, G. y Favory, F. (1992): *Les Arpenteurs romains. Théorie et Pratique*. Paris, Errance.
- Chouquer, G. y Favory, F. (2001): *L’arpentage romain. Histoire des textes–Droit–Techniques*. Paris, Errance.
- Chouquer, G.; Clavel-Lévêque, M.; Dodinet, M.; Favory, Fr. y Fiches, J.-L. (1983): “Cadastres et voie domitienne. Structures et articulations morpho-historiques”. *Dialogues d’Histoire Ancienne* 9: 87-111.
- Clavel-Lévêque, M. (1992): “Centuriation, géométrie et harmonie. Le cas du Biterrois”, en J.-Y. Guillaumin (dir.), *Mathématiques dans l’Antiquité*: 162-184. Saint-Étienne, Publications de l’Université de Saint-Etienne.
- Clavel-Lévêque, M.; Vassilopoulos, A.; Evelpidou, N. y Chartidou, K. (2007): “Geoarchaeology and soft computing applications in Roman Landscapes’ research”. *Agri Centuriati* 3: 101-109.
- Costa, V. y Orfila, M. (2014): “Creación física de gnómones”, en M. Orfila, E. Chávez-Álvarez y E. H. Sánchez (eds.), *La orientación de las estructuras ortogonales de nueva planta en época romana. De la varatio y sus variaciones*: 129-155. Granada, Universidad de Granada-Universidad de La Laguna.
- Dall’Aglia, P.L. (2004): “Perché studiare la centuriatione”. *Agri Centuriati* 1: 17-21.
- Decramer, L. R. y Hilton, R. (1999): “Le problème de la grande centuriation de l’*Africa Nova*. Esquisse d’une solution”. *Les cahiers de la Tunisie* XLIX 174 : 43-95.
- Decramer, L. R. ; Hilton, R. ; Lapierre, L. y Plas, A. (2003): “Le cadastre romain d’Orange”. *Archéologie* 404: 36-46.
- Decramer, L. R. ; Hilton, R.; Lapierre, L. y Plas, A. (2006): “La grande carte de la colonie romaine d’Orange”, en A. Gonzales et J.-Y. Guillaumin (eds.), *Autour des Libri coloniarum. Colonisation et colonies dans le monde romain*: 93-114. Besançon, Presses universitaires de Franche-Comté.
- Dilke, O. A. W. (1971): *The Roman Land Surveyors: an introduction to the Agrimensores*. New York, Newton Abbot.
- Eckstein, A. (1979): “The Foundation Day of Roman *Coloniae*”. *California Studies in Classical Antiquity* 12: 85-97.
- Equipo Sotoer (2014): “La técnica de la varatio en el mundo antiguo”, en M. Orfila, E. Chávez-Álvarez y E. H. Sánchez (eds.), *La orientación de las estructuras ortogonales de nueva planta en época romana. De la varatio y sus variaciones*: 72-85. Granada, Universidad de Granada-Universidad de La Laguna.
- Felipe, A. M. y Márquez, C. (2014): “Una propuesta de modulación del Foro Colonial de *Astigi* y la configuración de su área sacra”. *Archivo Español de Arqueología* 87: 157-173.
- Ferrar, M. J. y Richardson, Q. (2003): *The Roman Survey of Britain*. Oxford, John and Erica Hedges Ltd.
- Ferro, L. y Magli, G. (2012): “The astronomical orientation of the urban plan of Alexandria”. *Oxford Journal of Archaeology* 31-4: 381-389.
- Frothingham, A. L. (1917): “Ancient Orientation Unveiled, I”. *American Journal of Archaeology* XXI.1: 55-76.
- González Tascón, I. (2002): “La ingeniería civil romana”, en I. González Tascón (dir.), *Artifex. Ingeniería romana en España*: 33-177. Madrid, Fundación Juanelo Turriano, Ministerio de Cultura, Ministerio de Fomento.
- González Villaescusa, R. (2002): *Las formas de los paisajes mediterráneos*. Jaén, Universidad de Jaén.
- González Villaescusa, R. (2008): “Ce que la morphologie peut apporter à la connaissance de la centuriation d’Ilici (Elche, Espagne)”. *Agri Centuriati* 4: 29-42.
- Gottarelli, A. (2003a): “Auguraculum, sedes inaugurationis e limitatio, rituale della città fondata. Elementi di analogia tra la forma urbana della città

- etrusca di Marzabotto ed il templum augurale di Bantia". *Ocnus* 11: 135-149.
- Gottarelli, A. (2003b): "Modello cosmologico, rito di fondazione e sistemi di orientazione rituale. La connessione solare". *Ocnus* 11: 151-170.
- Gottarelli, A. (2004): "Templum Solare e città fondata. La connessione astronomica della forma urbana della città etrusca di Marzabotto (III)", en G. Sassatelli y E. Govi (eds.), *Culti, Forma Urbana e artigianato a Marzabotto. Nuove prospettive di ricerca*: 101-138. Bologna, Ante quem.
- Green, R. M. (1985): *Spherical astronomy*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Gros, P. (1976): "Nombres irrationnels et nombres parfaits chez Vitruve". *Mémoires de l'École Française de Rome, Antiquité* 88-2 : 669-704.
- Guillaumin, J.-Y. (2002): "Note sur le document cadastral Romain découvert à la Alcudia (Elche, province d'Alicante)". *Dialogues d'Histoire Ancienne* 28-1: 113-134.
- Guillaumin, J.-Y. (2005): *Les arpenteurs romains. Hygin le Gromatique. Frontin*. Paris, Les Belles Lettres.
- Guy, M. (1993): "Les orientations des parcelles quadrillées". *Revue Archéologique de Narbonnaise* 26: 57-68.
- Haselberger, L. (1999): "Geometrie der winde, windige geometrie: Städtebau nach Vitruv und Aristophanes", en E. L. Schwandner y K. Rheidt (eds.), *Stad und Umland. Neue Ergebnisse der archäologischen Bau- und Siedlungsforschung. Diskussionen zur Archäologischen Bauforschung Band 7, bis 10*: 90-100. Mainz am Rhein, P. von Zabern.
- Haselberger, L. (2007): *URBEM ADORNARE. Die Stadt Rom und Ihre Gestaltumwandlung unter Augustus. Rome's urban Metamorphosis under Augustus. Journal of Roman Archaeology*, suppl. 64. Portsmouth.
- Kelley, D. H. y Milone E. F. (2011): *Exploring ancient skies: A survey of ancient and cultural astronomy*. New York, Springer New York.
- Le Gall, J. (1975): "Les Romains et l'orientation solaire". *Mélanges de l'École Française de Rome, Antiquité* 87: 287-320.
- Lewis, M. J. T. (2001): *Surveying Instruments of Greece and Rome*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Magli, G. (2008): "On the Orientation of Roman Towns in Italy". *Oxford Journal of Archaeology* 26-1: 63-71.
- Mar, R. y Roca, M. (1998): "Pollentia y Tàrraco. Dos etapas en la formación de los foros de la Hispania Romana". *Empuries* 51: 105-124.
- Mayer, M. y Olesti, O. (2001): "La sortio de Ilici: del documento epigráfico al paisaje histórico". *Dialogues d'Histoire Ancienne* 27-1: 109-130.
- Moranta, L. (2004): "L'estructuració urbana de Pollentia (ss. I a. C.-I d. C.)", en M. Orfila y M.A. Cau (coords.), *Les ciutats romanes del Llevant Peninsular i les Illes Balears*: 137-159. Barcelona, Pòrtico. Biblioteca Universitaria.
- Orfila, M. (2009): "Diseño del trazado urbano del foro de Pollentia", en J.M. Noguera (ed.), *Fora Hispaniae. Paisaje urbano, arquitectura, programas decorativos y culto imperial en los foros de las ciudades hispanorromanas*: 203-216. Murcia, Museo Arqueológico de Murcia.
- Orfila, M. (2011): "Arqueología Experimental aplicada al urbanismo. Un procedimiento para trazar y orientar estructuras ortogonales en época romana", en A. Morgado, J. Baena y D. García (eds.), *La investigación experimental aplicada a la Arqueología*: 289-297. Málaga, Universidad de Granada.
- Orfila, M. (2012): "Un posible sistema para orientar estructuras de trazado ortogonal en época clásica. El caso de Pollentia (Mallorca, España)". *Geographia Antiqua* XX-XXI: 123-136.
- Orfila, M. y Chávez-Álvarez, E. (2014): "La línea norte-meridiano-, como generadora de los trazados", en M. Orfila, E. Chávez-Álvarez y E. H. Sánchez (eds.), *La orientación de las estructuras ortogonales de nueva planta en época romana. De la varatio y sus variaciones*: 112-122. Granada, Universidad de Granada-Universidad de La Laguna.
- Orfila, M. y Moranta, L. (2001): "Estudio del trazado regulador del Foro de Pollentia (Alcúdia, Mallorca)". *Archivo Español de Arqueología* 74: 209-232.
- Orfila, M.; Chávez-Álvarez, E. e Iglesia, M.A. de la (2014): "La localización del norte a través de un gnomon: procedimiento", en M. Orfila, E. Chávez-Álvarez y E. H. Sánchez (eds.), *La orientación de las estructuras ortogonales de nueva planta en época romana. De la varatio y sus variaciones*: 123-126. Granada, Universidad de Granada-Universidad de La Laguna.
- Orfila, M.; Chávez-Álvarez, E. y Sánchez, E. H. (eds.) (2014a): *La orientación de las estructuras ortogonales de nueva planta en época romana. De la varatio y sus variaciones*. Granada, Universidad de Granada-Universidad de La Laguna.
- Orfila, M.; Chávez-Álvarez, E. y Sánchez, E. H. (2014b): "Conclusiones", en M. Orfila, E. Chávez-Álvarez y E. H. Sánchez (eds.), *La orientación de las estructuras ortogonales de nueva planta en época romana. De la varatio y sus variaciones*: 189-196. Granada, Universidad de Granada-Universidad de La Laguna.

- Orfila, M.; Moranta, L.; Chávez-Álvarez, E.; Iglesia, M.A. de la y Sánchez, E. H. (2014c): “Un caso particular de la *varatio*. El uso de ternas pitagóricas”, en M. Orfila, E. Chávez-Álvarez y E. H. Sánchez (eds.), *La orientación de las estructuras ortogonales de nueva planta en época romana. De la varatio y sus variaciones*: 86-109. Granada, Universidad de Granada-Universidad de La Laguna.
- Orfila, M.; Chávez-Álvarez, E.; Iglesia, M.A. de la y Sánchez, E. H. (2014d): “El gnomon y los triángulos pitagóricos como instrumentos de planificación básicos en el urbanismo romano: su aplicación sobre yacimientos arqueológicos hispanos”, en J. M. Álvarez Martínez, T. Nogales Basarrate, I. Rodà de Llanza (eds.), *XVIII CIAC: Centro y periferia en el mundo clásico*, v. I.: 773-776. Mérida (2013), Mérida.
- Pérez, A. (1995): *Les cadastres antiques en Narbonnaise occidentale. Essai sur la politique coloniale romaine en Gaule du sud (IIe s. av. J.-C.-IIe s. ap. J.-C.)*. *Revue Archéologique de Narbonnaise*, suppl. 29. Paris.
- Peterson, J. W. M. (1992): “Trigonometry in Roman cadastre”, en J.-Y. Guillaumin (ed.), *Mathématiques dans l'Antiquité*: 185-203. St.-Étienne, Publications de l'Université de Saint-Etienne.
- Peterson, J. W. M. (2007): “Random Orientation of Roman Camps”. *Oxford Journal of Archaeology* 26-1: 103-108.
- Richardson, A. (2005): “The orientation of Roman Camps and Foros”. *Oxford Journal of Archaeology* 24-4: 415-426.
- Rosada, G. (1991): “Divisione agraria, orientamiento e suolo”, en M. Santi, *Colloquio Int. Archeologia e Astronomia*, *Rivista di Archeologia*, suppl. 9: 88-95. Roma.
- Rossella Filippi, M. (1983): “Le procedure: le operazioni preliminari”, en A.A.V.V., *Misurare la terra: centuriazione e coloni nel mondo romano*: 124-127. Modena, Edizioni Panini.
- Roth-Congès, A. (1996): “Modalités pratiques d'implantation des cadastres romains: quelques aspects (*Quintarios claudere. Perpendere. Cultellare. Varare*: la construction des cadastres sur une diagonale et ses traces dans le *Corpus Agrimensorum*)”. *Mélanges de l'Ecole Française de Rome, Antiquité* 108-1: 299-422.
- Roth-Congès, A. (1998): “La “varation dans les territoires” de M. Iunius Nypsius: une application des propriétés des triangles semblables à la construction cadastrale”, en M. Clavel-Lévêque y A. Vignot, *Cité et territoire II*: 165-184. Besançon: Presses universitaires Franc-Comtoises; Paris: Diffusion Les Belles Lettres.
- Roth-Conges, A. (2001): “Instruments et techniques d'arpentage”, en G. Chouquer y Fr. Favory, *L'arpentage romain*:64-70; 79-94. Paris, Errance.
- Salvatori, M. (2006): *Manuale di Metrologia per architetti studiosi di storia dell'architettura ed archeologi*. Napoli, Liguori Editore.
- Sánchez, E. H. y Marín, P. (2014): “Los chequeos empíricos sobre el terreno”, en M. Orfila, E. Chávez-Álvarez y E. H. Sánchez (eds.), *La orientación de las estructuras ortogonales de nueva planta en época romana. De la varatio y sus variaciones*: 157-187. Granada, Universidad de Granada-Universidad de La Laguna.
- Schattner, Th. (2004): “Gedanken zu Situation und Lage des Terrassen heiligtums von Munigua (Prov. Sevilla)”, en E.-L. Schwandner und K. Rheidt (Hrsg.), *Macht der Architektur-Architektur der Macht*, Bau-forschungskolloquium in Berlin, 2002. Diskussionen zur Archäologischen Bauforschung 8: 240-249. Berlin (2002), Mainz am Rhein, Philipp von Zabern.
- Schlikker, F. W. (1940): *Hellenistische vorstellungen von der schönheit des bauwerks nach Vitruv*. Berlin, Archäologisches Institut des Deutschen Reiches.
- Strathern, P. (1999): *Pitágoras y su teorema. Los científicos y sus descubrimientos*. Madrid, Siglo Veintiuno.
- Thulin, C. (1913): *Corpus Agrimensorum Romanorum. Opuscula Agrimensorum Veterum*. Leipzig, B. G. Teubneri.
- Torelli, M. (1966): “Un *templum* augurale di età repubblicana a Bantia”. *RendicontiLincei XXI*: 293-315.
- Tosi, G. (1991): “Architettura e Astronomia nel “De Architectura” di Vitruvio”, en M. Santi, *Colloquio Int. Archeologia e Astronomia*, *Rivista di Archeologia*, suppl. 9: 74-82. Roma.
- Tozzi, P. (1974): *Saggi di topografia storica*. Firenze, La nuova Italia.
- Ventura, A. (1999): “El teatro en el contexto urbano de Colonia Patricia (Córdoba): Ambiente epigráfico, evergetas y culto imperial”. *Archivo Español de Arqueología* 72: 57-72.
- Welfare, H. y Swan, V. (1995): *Roman camps in England: The Field Archaeology*. London, H.M.S.O.
- Wilson, A. (2009): “Villas, horticulture and irrigation infrastructure in the Tiber Valley”, en F. Coarelli y H. Patterson (eds.), *Mercator Placidissimus: The Tiber Valley in Antiquity*: 731-768. Roma, Quasar.
- Zanker, P. (2000): “The city as symbol: Rome and the creation of an urban image”, en E. Fentress (ed.), *Romanization and the City. Creation, Transformations and Failures*. *Journal of Roman Archaeology*, suppl. 38: 24-41. Portsmouth.