

## **Píxeles de piedra. Visibilidad y ocultación en el *oppidum* de San Cibrán de Las (Ourense)**

*Stone pixels. Visibility and concealment in the oppidum of San Cibrán de Las (Ourense)*

Pastor Fábrega-Álvarez<sup>a</sup>

**Material complementario**

**Supplementary material**

---

<sup>a</sup> Instituto de Ciencias del Patrimonio (Incipit), Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).  
Correo e.: [pastor.fabrega-alvarez@incipit.csic.es](mailto:pastor.fabrega-alvarez@incipit.csic.es)

## ANEXO: CALIDAD DE RESPUESTA DEL MTD, TABLA A Y FIGURAS AC1-AC11

### 1. CALIDAD DE RESPUESTA DEL MTD

La calidad de modelo digital del terreno (MDT) debe ser evaluada. El MDT utilizado fue elaborado a partir de los datos LiDAR PNOA<sup>1</sup>, cuya nube de puntos tiene una resolución media, para toda España, de 0,5 puntos por m<sup>2</sup>. Para maximizar la cantidad de puntos y optimizar la representación topográfica, se combinaron distintas herramientas. En primer lugar se utilizaron filtros de clasificación en el *software* LASTools, separando aquellos puntos que se corresponden a la vegetación del terreno en altura. En segundo lugar, para detectar errores en la clasificación anterior, se obtuvieron perfiles altimétricos del MDT y del MDS, y se compararon con la realidad del terreno. A partir de esta comparación se observó que había una cantidad considerable de puntos correspondientes al terreno clasificados como vegetación. A partir de un análisis basado en valores atípicos (*outliers*) se recuperaron puntos correspondientes a la superficie del terreno, cuyo comportamiento estadístico de vecindad (pendiente, altitud) era compatible con la superficie topográfica. Este trabajo fue especialmente minucioso en las murallas y su entorno inmediato por dos razones. La primera porque la clasificación de la nube de puntos fallaba especialmente en estas zonas; y la segunda porque la precisión del modelo, en la medida que la simulación se basa en alterar la altura de las murallas, es especialmente importante en estas zonas para obtener buenos resultados.

Las diferencias altimétricas entre el valor real y valor estimado, en el caso del LiDAR PNOA para toda España, son inferiores a 20 cm (RMSE Z). Sin embargo, a partir de estos datos de calidad altimétrica, hemos querido profundizar en la calidad de respuesta del modelo para calcular la visibilidad. En adelante detallamos los resultados de esta segunda valoración. Entre sistema real y modelo debe existir una respuesta análoga. Representar en un MDT formas arquitectónicas es complejo, ya que exige una gran densidad de cotas. Además, lo ideal sería hacerlo en una estructura de datos tridimensional y volumétrica, que presenta problemas de integración en un SIG, especialmente cuando desarrollamos rutinas de visibilidad automatizadas<sup>2</sup>. Por tanto, debemos validar si nuestro MDT (AC1.) tiene la suficiente calidad para dar una respuesta fiable

sobre el análisis que planteamos. Para controlar la calidad de respuesta del modelo se realizó un test de visibilidad en campo que fue comparado con las *viewshed* calculadas a partir de ArcGIS 10.4 (AC2.). Para ello seleccionamos un test de respuesta que pudiera ser contrastado en campo sin matices, como la posibilidad de visibilizar desde un punto situado en un espacio determinado cualquier punto de otro espacio, considerando que los límites entre espacios vienen definidos por cualquiera de las murallas del *oppidum*. La respuesta al test es positiva (visible), negativa (no visible) o nula<sup>3</sup> (*uncertain*), sin que pueda adquirir otro valor. Siguiendo este planteamiento se hicieron, sobre el terreno, una serie de observaciones desde distintos puntos, registrando cada una a partir de fotografías geocodificadas tomadas a la misma altura de los ojos del observador (170 cm). Aunque el objetivo principal del test es valorar la respuesta respecto a la altura actual de la muralla, se colocó un jalón de hasta 300 cm (altura máxima simulada) encima de la muralla para realizar las fotografías, lo cual nos permite, al menos en una dirección que viene dada por la alineación entre el visor y el jalón, realizar valoraciones sobre los escenarios en los que se añade a la muralla distintas alturas (+75, +150, +300). Las fotografías fueron analizadas una a una para determinar si existía o no visibilidad sobre cada espacio en cuestión. Por otra parte, para valorar la respuesta de los cálculos de visibilidad sobre el modelo digital, se estableció una rejilla regular de puntos de muestreo cada 5 m elevados 170 cm sobre el terreno, y se calculó la *viewshed* desde cada punto, determinando si existía o no visibilidad sobre cada espacio desde otro. Posteriormente, se interpolaron las respuestas de los puntos de muestreo para construir una superficie continua que representa la visibilidad desde cada espacio sobre otro. Dejando al margen algunos errores puntuales, la similitud de respuestas en el modelo digital y el terreno es significativa, teniendo en cuenta lo siguiente: los puntos que presentan en campo la respuesta “visible” se correlacionan con zonas en donde, según el modelo digital, existe un mayor porcentaje de superficie visible (>3 % aprox.), mientras los puntos que representan en campo la respuesta “no visible” se correlacionan con zonas en donde, según el modelo digital, o bien no existe visibilidad, o bien el porcentaje de superficie visible es despreciable (<0.5 % aprox.). Al margen de posibles errores del modelo digital, cuando el porcentaje de superficie visible es tan bajo (<0.5 % aprox.), es posible que sea difícil determinar, en campo y a cierta distancia, si un espacio es visible o no lo es. En

<sup>1</sup> Proyecto desarrollado por el Centro Nacional de Información Geográfica <https://pnoa.ign.es/presentacion>

<sup>2</sup> Tal y como reconoce E. Paliou 2013: “Reconsidering the concept of visual scapes: recent advances in three-dimensional visibility analysis”. En A. Bevan y M. Lake (eds.): *Computational approaches to archaeological spaces*. Left Coast Press, Walnut Creek: 243-263.

<sup>3</sup> Valor que adquiere cuando no puede ser comprobada. En muchos casos, responde a que la visibilidad permite ver la vegetación en altura sin que se aprecie si es posible ver la cota suelo.

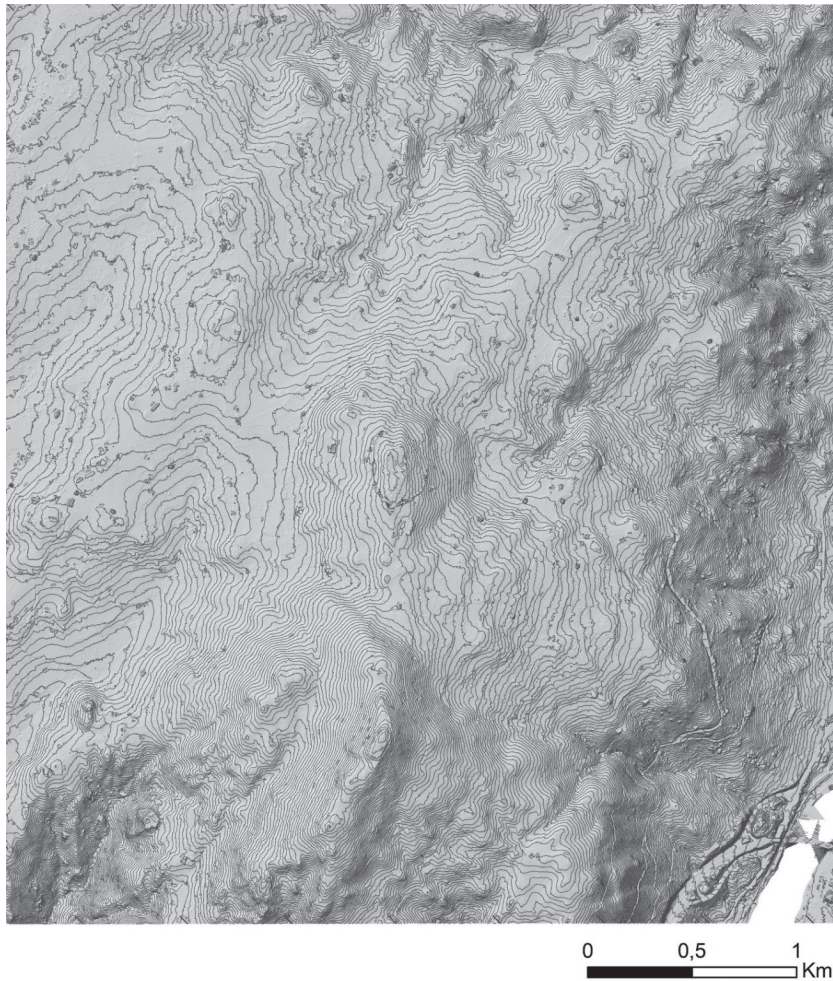
definitiva, las respuestas de visibilidad entre el modelo y el terreno real coinciden en gran medida. Si bien, las diferencias nos han permitido detectar imprecisiones que se han tenido en cuenta, tanto en la estrategia de cálculos como en la valoración de resultados.

**2. TABLA A Y FIGURAS AC1-AC11**

La tabla A y las 11 figuras que aparecen a continuación apoyan las argumentaciones que pueden encontrarse en el texto del artículo.

	Altura conservada				Altura máxima perdida				Altura máxima total			
	mín.	máx.	mediana	media	mín.	máx.	mediana	media	mín.	máx.	mediana	media
<b>M1</b>	0,92	1,88	1,38	1,39	1,86	3,23	1,89	2,33	2,78	5,11	3,27	3,72
<b>M2</b>	1,44	1,93	1,48	1,52	1,62	7,56	3,51	4,05	3,06	9,49	4,99	5,57
<b>M3</b>	1,42	2,07	1,58	1,69	1,09	6,66	4,03	4,04	2,51	8,73	5,61	5,73
<b>Todas</b>	0,92	2,07	1,54	1,58	1,09	7,56	3,49	3,68	2,01	9,63	5,02	5,25

Tabla A. Tendencia central de la altura de las murallas basada en la proyección de sus escaleras interiores medidas en cada tramo en la figura 2. Estadísticas de la altura conservada, altura máxima perdida y altura máxima total (suma de las anteriores).

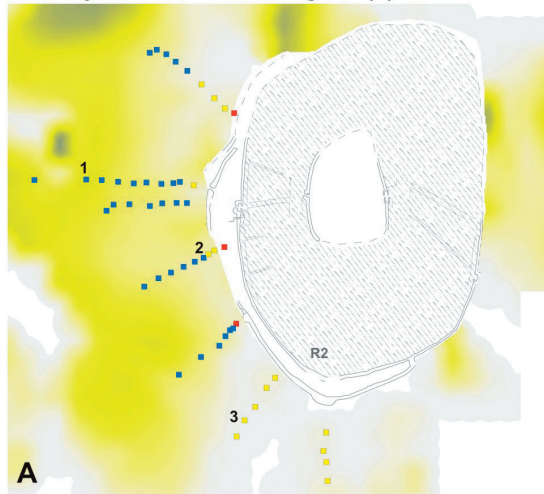


AC1. Representación de un mapa de sombras (*hillshade*) con curvas de nivel cada 3 m correspondiente al MDT obtenido a partir de datos LiDAR PNOA.

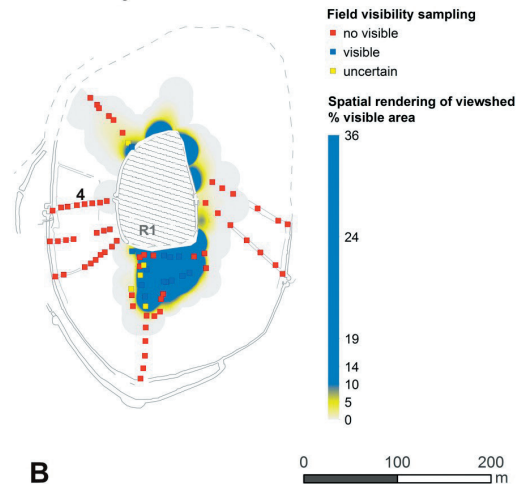




Visibility from the surrounding site (E) to R2

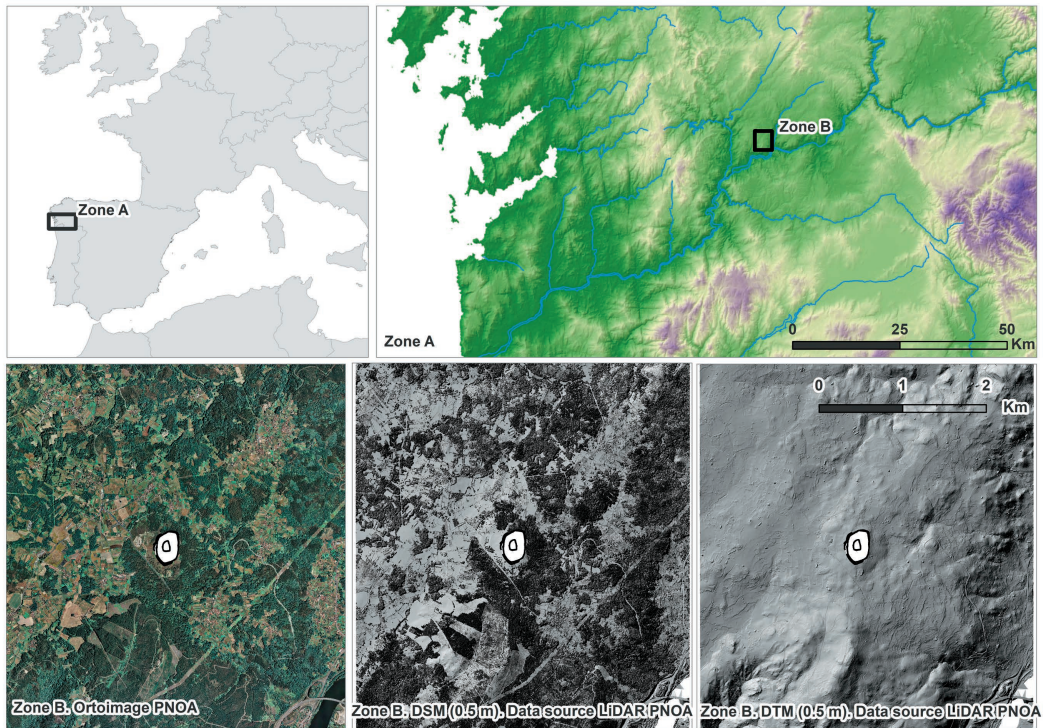


Visibility from R2 to R1

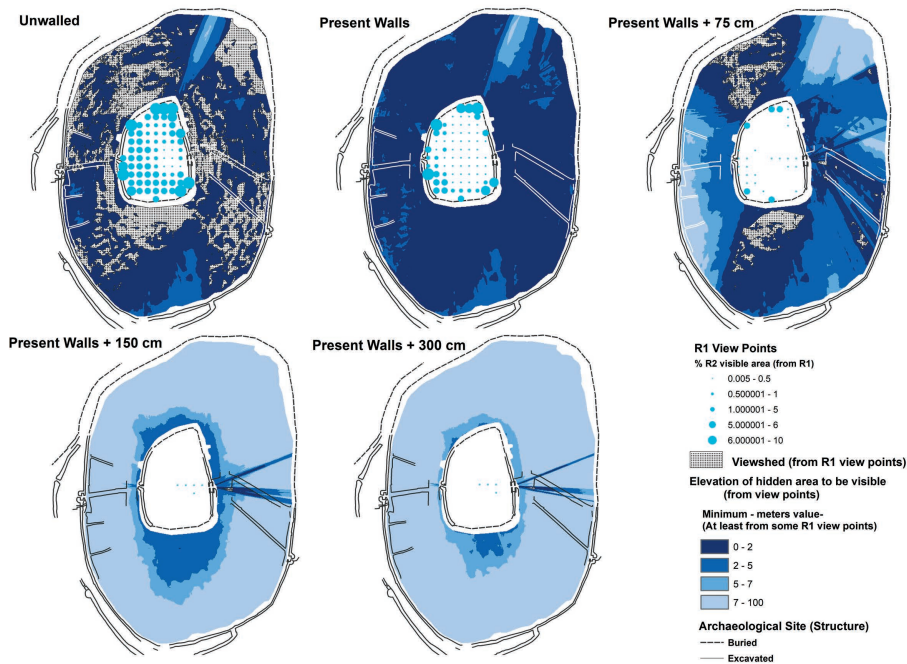


AC2. Arriba, cuatro fotografías empleadas para el registro de la visibilidad en campo (*field visibility sampling*) y situadas en los mapas de abajo. Cada fotografía se registró como visibilidad desde el entorno sobre el R2 (foto 1 y 2), visibilidad incierta (*uncertain*) desde el entorno sobre el R2 (foto 3), invisibilidad desde el R2 sobre el R1 (foto 4). En las fotografías 1, 2 y 3 se ha rodeado a una persona con el jalón subida a la muralla que marca el límite entre el entorno y el recinto habitacional (R2). Abajo, mapas A y B de correlación espacial entre los puntos de observación en campo (*field visibility sampling*) y un modelo de visibilidad (*spatial rendering of viewshed*) obtenido por interpolación a partir de una malla regular de puntos, situados cada 5 m, desde donde fueron calculados las *viewshed*. El modelo ha sido interpolado teniendo en cuenta el porcentaje de superficie visible desde cada punto sobre el recinto correspondiente: el mapa A representa la visibilidad del recinto habitacional (R2) desde el entorno del poblado (E), y el mapa B la visibilidad de la “cra” (R1) desde el recinto habitacional (R2) (Fábrega-Álvarez 2017: 228, figura 8.5).

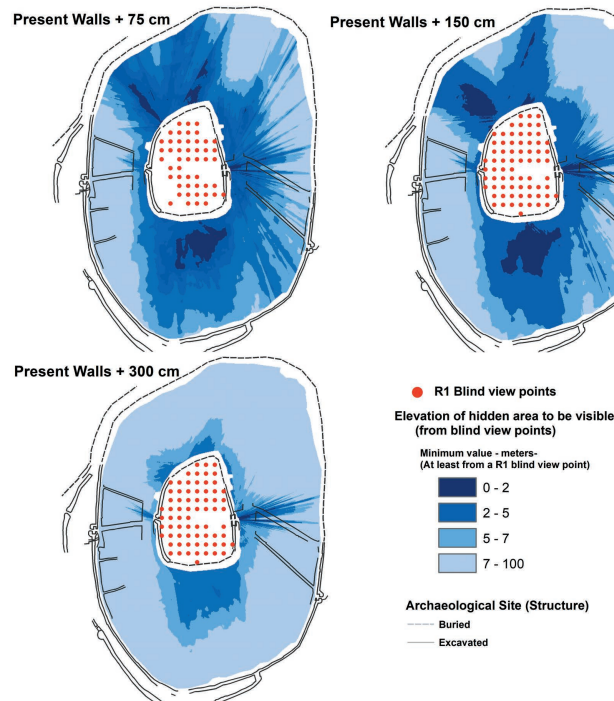




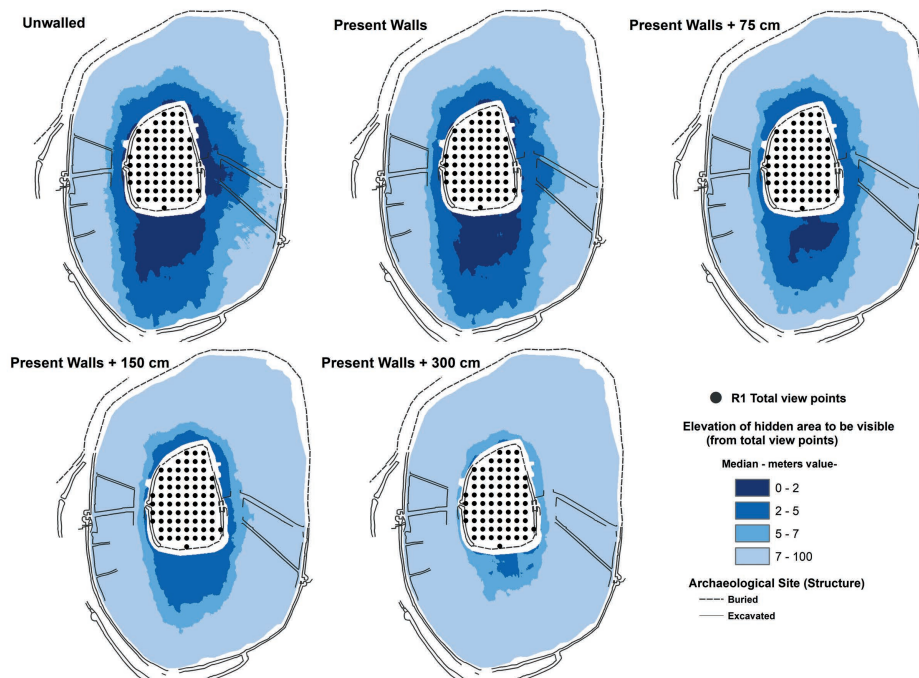
AC3. Localización y emplazamiento del *oppidum* de San Cibrán de Las (Ourense).



AC4. Simulación de la visibilidad desde el R1 hacia el R2 con cinco alturas de muralla (*unwalled*, *present walls*, +75, +150, +300 cm). El tamaño de los puntos de muestreo indica el porcentaje de superficie visible del R2. En el R2 se representa la superficie visible desde alguno de los puntos de muestreo y la altura que habría que añadir en las zonas no visibles para que se vieran desde, al menos, uno de los puntos de muestreo con visibilidad hacia el R2.

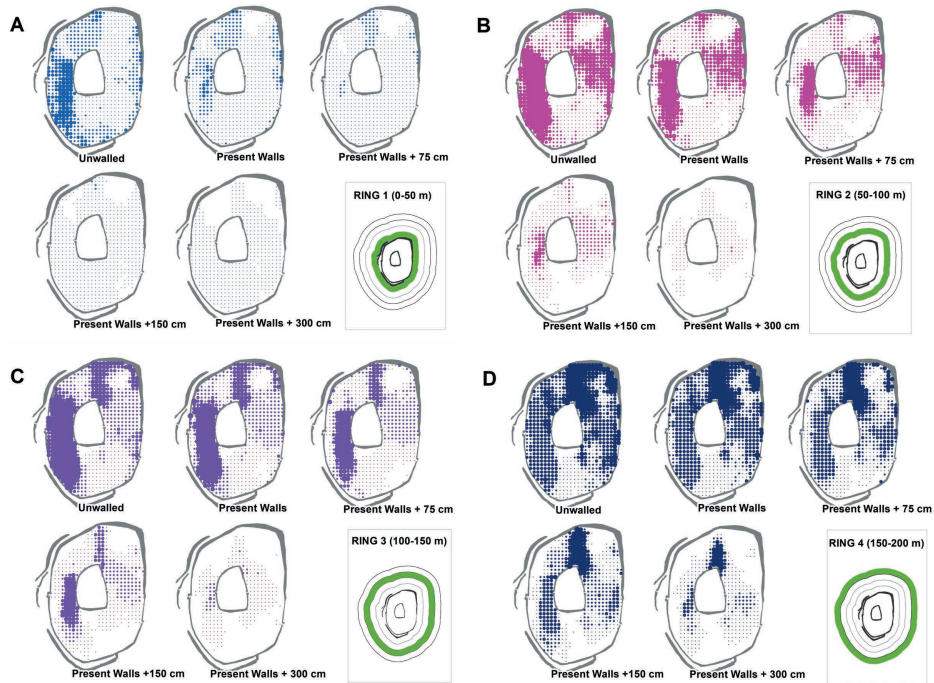


AC5. Puntos de muestreo sin visibilidad desde el R1 hacia el R2 (+75, +150, +300 cm). En el R2 se representa la altura que habría que añadir en cada zona para que fuera visible, al menos, desde alguno de estos puntos de muestreo (*blind view points*).

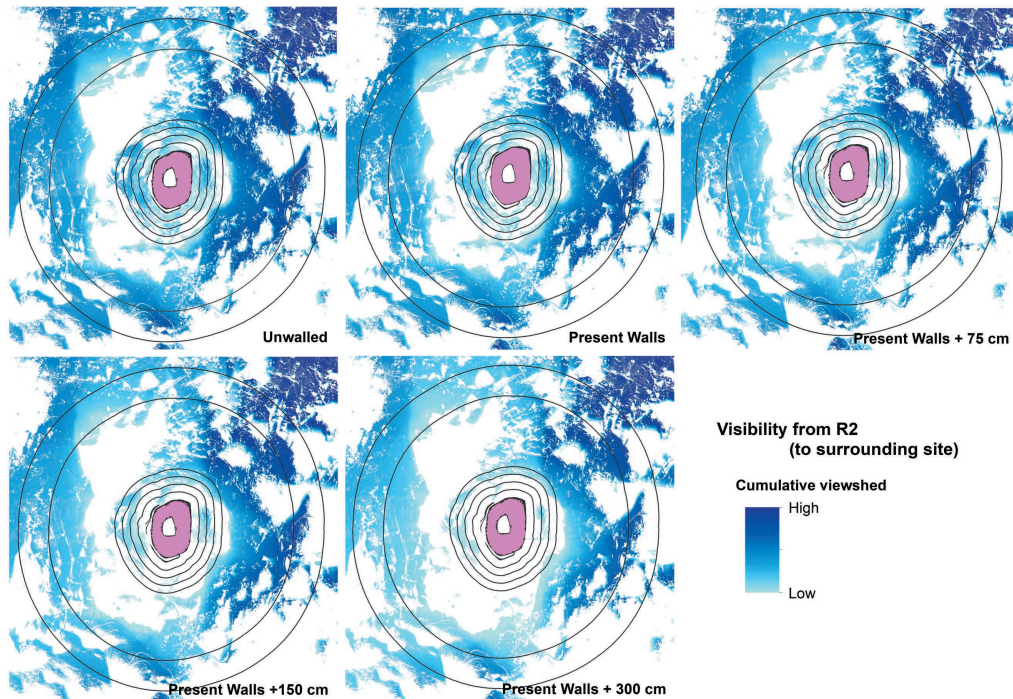


AC6. Puntos de muestreo utilizados para analizar la visibilidad desde el R1 hacia el R2 con cinco alturas de muralla (*unwalled, present walls, +75, +150, +300 cm*). En el R2 se representa la mediana de la altura que habría que añadir en cada zona para que fuera visible desde los puntos de muestreo.



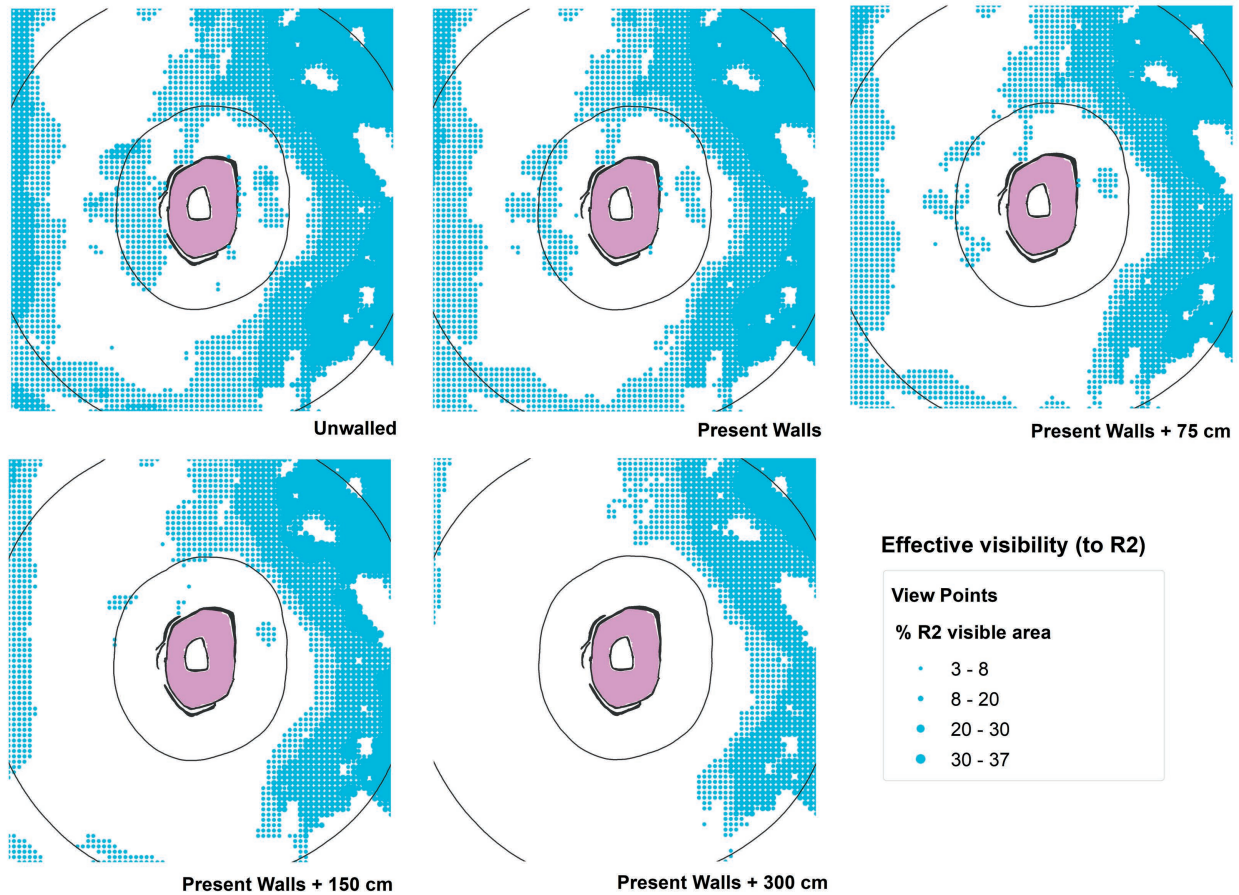


AC7. Simulación de la visibilidad desde el R2 hacia el exterior del poblado con cinco alturas de muralla (*unwalled*, *present walls*, +75, +150, +300 cm). Representación de la visibilidad hacia cada uno de los anillos exteriores de 50 m (A), 50-100 m (B), 100-150 m (C) y 150-200 m (D). El tamaño de los puntos representa el porcentaje de superficie visible de cada anillo.

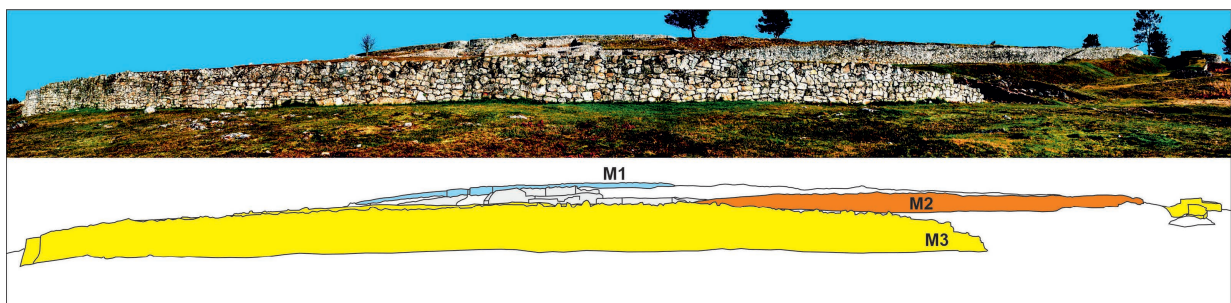


AC8. Sumatorio de visibilidad desde el R2 hacia su entorno con cinco alturas de muralla (*unwalled*, *present walls*, +75, +150, +300 cm). Radios de referencia desde el sitio de 50, 100, 150, 200, 500, 700 m.

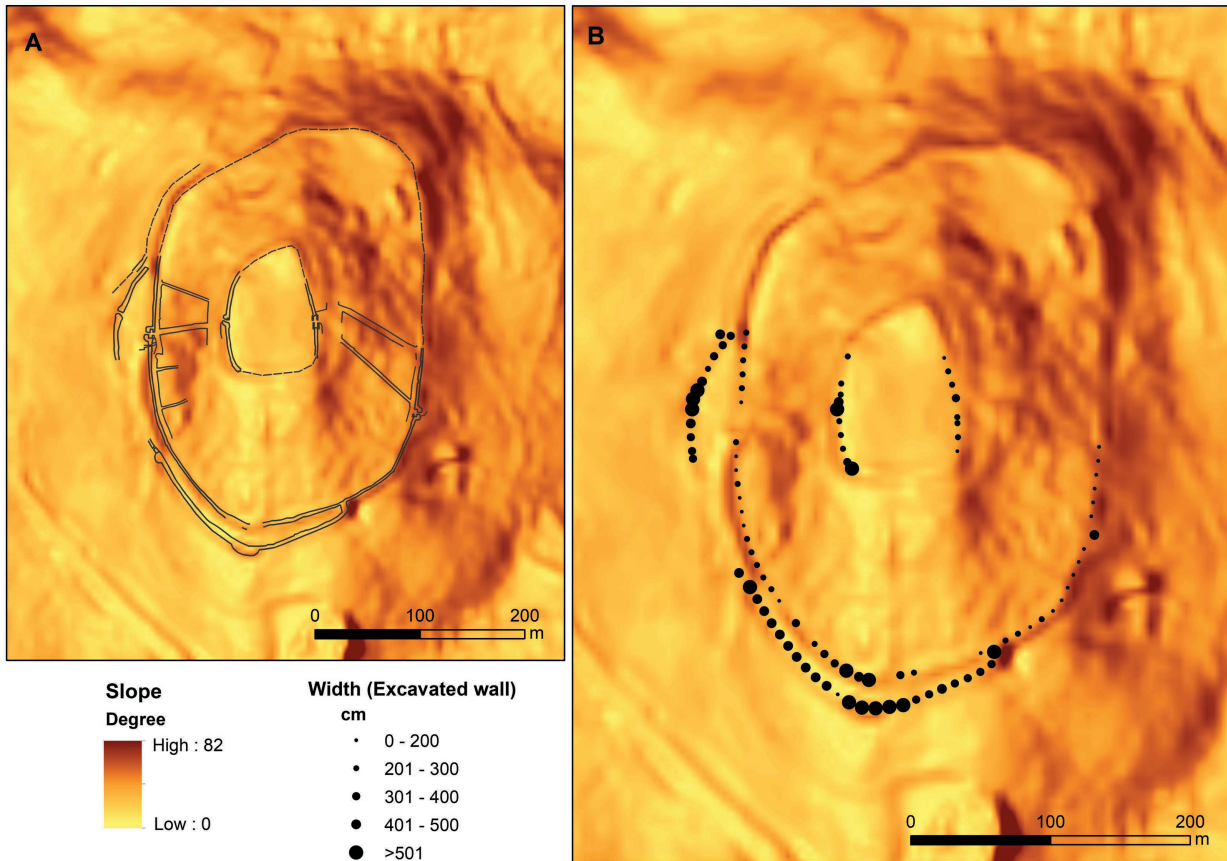




AC9. Simulación de la visibilidad efectiva desde el entorno inmediato hacia el R2 con distintas alturas de muralla (*unwalled*, *present walls*, +75, +150, +300 m). El tamaño de los puntos de muestreo representa el porcentaje de superficie visible del R2. Radios de referencia de 200 y 675 m.



AC10. Representación del efecto visual de superposición de los distintos aparejos de murallas y otros elementos constructivos verticales desde el entorno inmediato de San Cibrán de Las. Imagen digital panorámica compuesta por fotografías tomadas en torno a la tercera muralla (M3) en el sector occidental del *oppidum* (Fábrega-Álvarez 2017: 252, figura 8.21).



AC11. Estructura de las murallas y pendiente del terreno (A). Anchura de las murallas muestreada cada 10 m en relación a la pendiente del terreno (B).