

Integración de información geológica en un sistema de información geográfica con objetivos arqueométricos

Integrating geological information in a geographic information system for archaeometric purposes

Beatriz Guimarey

Sistema de Información Territorial (SIT). Universidad de Santiago de Compostela

beatriz.guimarey@usc.es

Oscar Lantes-Suárez

Unidade de Arqueometría. RIAIDT. Universidade de Santiago de Compostela

Miguel Cordero

Sistema de Información Territorial (SIT). Universidade de Santiago de Compostela

María del Pilar Prieto-Martínez

Departamento de Historia I. Universidad de Santiago de Compostela

Resumen

El trabajo realizado se plantea en el marco de un proyecto de investigación financiado por la Xunta de Galicia titulado 'Isótopos de Pb y Sr en cerámicas arqueológicas de Galicia: estudio de la procedencia y el acceso a las materias primas'. El objetivo de este trabajo es arqueométrico: determinar de una forma más rápida, directa y fiable las fuentes de materias primas potenciales de las cerámicas antiguas recuperadas en contextos arqueológicos gallegos, a través del establecimiento de una metodología y protocolos de trabajo para la gestión de información arqueológica, arqueométrica y geológica (MAGNA50) dentro de un Sistema de Información Geográfica. Debido a la ausencia de investigación de la arqueología en este ámbito en la región, el proceso de trabajo fue complejo. Sus resultados aportan un gran beneficio y utilidad a la arqueometría, y poseen un gran potencial de cara a futuras investigaciones.

Palabras clave

SIG. Sistema de Información Geográfica. Mapa geológico MAGNA 1:50.000. Mapa geológico digital 1:50.000. Cerámica arqueológica antigua. Estudios de procedencia. Arqueometría. Galicia. Áreas fuente.

Abstract

We present details of the work carried out within the framework of a research project funded by the Regional Government of Galicia, Spain, titled "Pb and Sr Isotopes in archaeological pottery from Galicia: a provenance study of the raw materials and their access," in order to define the methodology and working protocols required in order to be able to manage archaeological, archaeometric and geological information from the MAGNA50 geological map of Spain as a part of a Geographical Information System. The aim of this study is to define in a faster, more direct and reliable way the sources of the potential raw materials used for ancient pottery recovered from archaeological sites in Galicia. Due to a lack of archaeological research in this field in the region, the working process was complex. Its results are of great benefit and use to archaeometry, the thematic framework for this work. We discuss the potential of this study in relation to future research projects.

Key words

GIS. Geographic Information System. MAGNA 1:50,000 geological map. Digital geological map at 1:50,000 scale. Ancient archaeological pottery. Provenance studies. Archaeometry. Galicia. Source areas.

INTRODUCCIÓN

En el presente texto pretendemos mostrar la metodología y protocolos de trabajo desarrollados durante el proceso de incorporación de la información geológica disponible en la cartografía del noroeste ibérico utilizando como herramienta de gestión un sistema de información geográfica. Esta fase de trabajo es fundamental dentro de un proceso mucho más amplio de integración y homogeneización de información espacial relacionada con el registro arqueológico cerámico de una veintena de yacimientos arqueológicos distribuidos en la costa y el interior de Galicia. El estudio forma parte del proyecto de investigación titulado 'Isótopos de Pb y Sr en cerámicas arqueológicas de Galicia: estudio de la procedencia y el acceso a las materias primas' financiado por el Plan Gallego de I-D+I (ver detalles en reconocimientos). Debido a la ausencia de investigación de la arqueología en el ámbito de la incorporación de la cartografía geológica dentro de un GIS con orientación arqueométrica, se tuvo que partir de cero en un proceso que aparentemente iba a ser mecánico pero que ha resultado complejo.

La búsqueda de materias primas para elaborar cerámica, tanto en un nivel regional (50-200 km) como local (<7 km), es un aspecto muy importante en la historia de la humanidad y se relaciona directamente con el conocimiento de las áreas fuente potenciales, zonas de explotación, y rutas de comercio, difusión, distribución o movilidad. La localización de fuentes potenciales de materias primas ayuda a reconstruir, de alguna manera, la economía de las sociedades pasadas.

Uno de los modos habituales de proceder para identificar estas fuentes, en los estudios arqueométricos en general y en los cerámicos en particular, es consultar la cartografía geológica haciendo una evaluación cualitativa de la oferta litológica de cara a valorar si la materia prima puede proceder del entorno o bien ser foránea (<200 km) (CONVERTINI Y QUERRÉ 1998, SALANOVA *et al.* 2015). La identificación de las fuentes de aprovisionamiento de materia prima relacionadas con yacimientos arqueológicos en Galicia se ha realizado hasta el momento de este modo, a través de la identificación y estudio de la litología del entorno de los yacimientos arqueológicos, mediante los mapas geológicos disponibles (p.ej. MARTÍNEZ CORTIZAS *et al.* 2011). Así, en muchas ocasiones, a la documentación geográfica de una zona arqueológica se suma también una breve memoria de las características del contexto geológico, siendo ésta una fuente información de interés, pero de uso limitado a un mero complemento descriptivo. Sólo en el caso de la búsqueda de áreas fuente vinculadas a materias primas útiles para fabricar objetos metálicos (p.ej. DELIBES Y MONTERO 1999) o de rocas y/o minerales de presencia excepcional en el territorio se añade un mayor interés en la exploración de la cartografía geológica (pueden consultarse algunos ejemplos como ODRIOZOLA *et al.* 2010; DOMINGUEZ *et al.* 2015; POLVORINOS *et al.* 2008; NAVAZO *et al.* 2008).

Aunque todavía son poco frecuentes, recientemente se han puesto en marcha varios estudios que plantean un nivel de profundización mayor en relación con las distancias mínimas probables de las áreas fuente. En estos trabajos no sólo interesa saber si el origen es local (incluso diferenciando *in situ*: 0-1 km y local: <7 km) o no, sino que además es importante valorar el grado de movilidad probable dentro de un territorio comarcal

(7-50 km)¹ y proponer así posibles redes de distribución en diferentes rangos de distancia o influencia. Estos estudios, que requieren un conocimiento geológico de áreas que exceden el ámbito local, se apoyan en el análisis de la mineralogía y de su puesta en relación con la oferta mineralógica disponible en el territorio (p.e. PRIETO *et al.* 2009a y 2009b, MARTÍNEZ CORTIZAS *et al.* 2011). Además, la geoquímica y la composición isotópica del Pb y Sr de las cerámicas y su comparación con los análisis efectuados a muestras geológicas recogidas son otras de las aproximaciones arqueométricas posibles² que aquí no serán concretadas por exceder los objetivos de este artículo.

La bibliografía geológica es la herramienta básica necesaria para conocer la geología de un área dada en nuestra región, y por lo tanto, imprescindible para efectuar este trabajo. Ésta se obtiene del Instituto Geológico y Minero de España (I.G.M.E) que posee una colección variada de cartografía geocientífica de España en diferentes escalas (de 1:50.000 a 1:2.000.000) y de diversa índole, mapas geológicos, geomorfológicos, geotectónicos, hidrogeológicos, metalogenéticos, etc. Dispone además de variadas bases de datos, colecciones de documentos y otros servicios de gran utilidad en disciplinas tan diversas como la ordenación del territorio o incluso la Historia. La información que ofrece se puede encontrar en la web³ y los mapas se pueden descargar en varios formatos, en algunos casos de forma gratuita, previo registro en su página (figura 1).

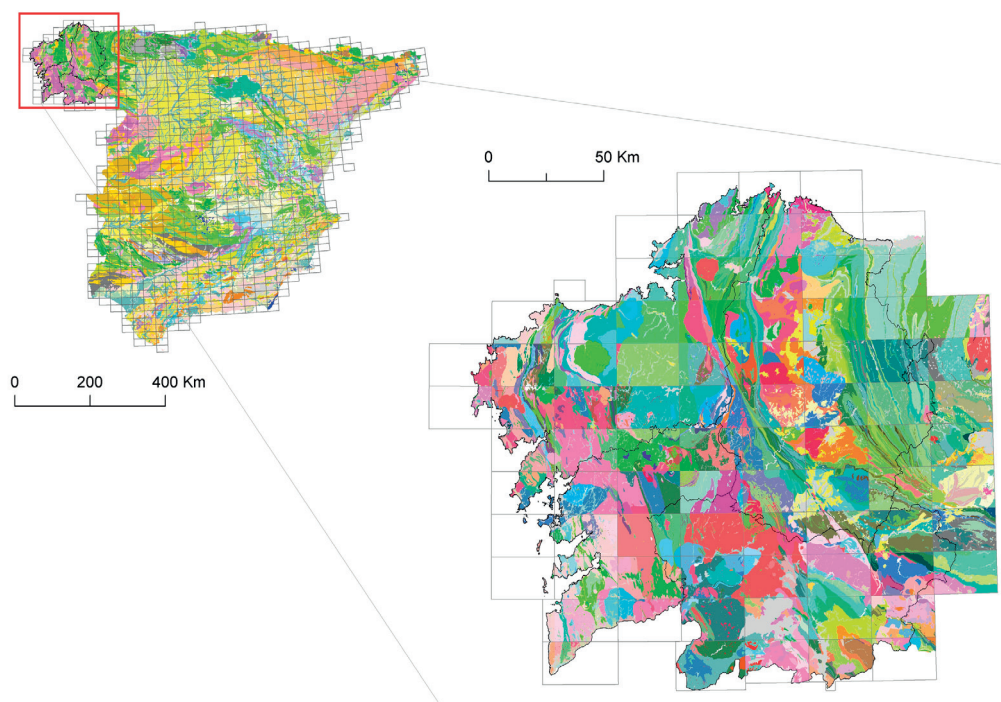


Figura 1. Mapa geológico de la Península Ibérica a escala 1/1.000.000 y distribución de hojas del Mapa Geológico de España a escala 1/50.000 (MAGNA50) para Galicia. Ambas cartografías se encuentran simbolizadas según su manual de estilo publicado por el I.G.M.E

- 1 Estos rangos de distancias se establecen a partir de estudios antropológicos y arqueológicos diversos, entre los que se pueden destacar GOSSELAIN y LIVINSTONE (2005), ARNOLD, (1985, 2005, 2006); CONVERTINI y QUERRÉ (1998); MARTÍNEZ-CORTIZAS *et al.* 2011; SALANOVA ET AL. (2015) y WEINER (2010: 96).
- 2 Este último enfoque, es el utilizado en el proyecto que está en marcha, y se ha comenzado con la definición de los entornos de los yacimientos arqueológicos hasta un radio de 30 km de los mismos.
- 3 <http://info.igme.es/cartografia/>

Sin duda, el marco en el que más apropiadamente podemos integrar toda la información geológica, arqueométrica y arqueológica, es un Sistema de Información Geográfica (SIG). Un SIG es una plataforma en la que se pueden gestionar, analizar, modelar e integrar bases de datos geoespaciales. Dichas bases de datos están formadas por dos componentes: la espacial, es decir, forma y posición geográfica de los elementos e información adicional asociada a cada entidad, y que se almacena en las denominadas tablas de atributos (BURROUGH Y MCDONNELL 1998, OLAYA 2012). Esto favorece la aproximación desde múltiples enfoques y posibilita el mejor estudio y representación de sistemas complejos, tales como los arqueológicos (DEL BOSQUE GONZÁLEZ *et al.* 2012, LOCK 2000), en los que deben conjugarse numerosas fuentes de información. Por lo tanto las aportaciones de los SIG en estos trabajos van en dos sentidos: Por un lado el propio análisis científico de la información y extracción de nuevos datos, y por otro la representación y divulgación científica de los resultados obtenidos. Centrándonos en la fase de estudio, amplía es la bibliografía arqueológica basada en el análisis del territorio desde el punto de vista de la visibilidad entre yacimientos y desde los yacimientos en relación con el entorno que dominan o perciben, y por lo tanto útil para el control de las posibles áreas fuente y movilidad del hombre a través del territorio. En particular para Galicia destacan varios trabajos centrados sobre todo en la Edad del Hierro (VÁZQUEZ MATO 2010, PARCERO *et al.* 2013, PARCERO Y FÁBREGA 2006). Más escasos y recientes pero con mucho potencial en la investigación son los centrados en época prehistórica (GONZÁLEZ-INSUA 2013). Por otro lado, en la última década, la preocupación por la divulgación del patrimonio cultural y arqueológico, junto con la proliferación de las herramientas y entornos geoespaciales, ha potenciado la aparición de visores y páginas web basadas en SIG. Entre estos se pueden destacar varios que son fruto de estudios relacionados con las vías y el comercio antiguos, con especial incidencia en el mundo romano cuyo alcance territorial es de ámbito continental (MORENO GALLO 2012, VOOBURG 2011, SCHEIDEL y MEEKS, 2012). Ya centrados en el ámbito gallego, la mayoría de portales de esta temática nacen con el objetivo de dar acceso a las bases de datos patrimoniales disponibles, (p.e. PROYECTO MURALLA DIGITAL 2007-13, XEOPORTAL IDEPATRI GIS CESGA, SISTEMA DE INFORMACIÓN PATRIMONIAL –SIP– DE SANTIAGO DE COMPOSTELA⁴).

En la disciplina geológica también hay una preocupación particular por desarrollar el trabajo sobre plataformas SIG buscando fórmulas metodológicas accesibles al geólogo para tratar la información de forma ágil (p.e. LALOUX 2014). Y al igual que en arqueología, los SIG se emplean tanto para la investigación científica como para la divulgación. La mayoría de trabajos de este campo relacionados con bases geoespaciales están orientados a la representación de la información geológica conocida y representada en los mapas oficiales utilizados en las diferentes regiones del globo y a veces se añaden análisis de composición química, que complementan dicha información geológica. Interesante

4 <http://www.vilasamuralladas.eu/es/>
<http://idepatri.cesga.es/idepatri.php>
<http://sip.consorciodesantiago.org/SIPWeb/>

es el trabajo desarrollado por SEGEMAR (2012), que utilizando *Google Satellite* ofrece información geológica a nivel mundial, si bien se centra en determinadas áreas de Argentina, en donde se realizan análisis de diverso tipo que se añaden a la información básica existente. Sin embargo, no hay trabajos orientados específicamente a resolver problemas de investigación geológica y arqueológica conjunta. Algunos mapas con información de interés geológico, todavía en fase de elaboración como los de O o Sr en áreas como las Islas Británicas o Centroeuropa están siendo útiles en arqueología pues permite realizar estudios de movilidad en personas y animales de épocas pasadas, destacando el famoso estudio del ‘Arquero de Amesbury’ (WESSEX ARCHAEOLOGY⁵) entre otros muchos estudios (p.e. PRICE *et al.* 1998).

PLANTEAMIENTOS Y OBJETIVOS

La movilidad de las sociedades antiguas es un tema importante de investigación y la cerámica antigua es un resto arqueológico abundante y con gran potencial informativo sobre este aspecto. El estudio de las tradiciones y estilos cerámicos aportan una información importante sobre las sociedades pasadas. En términos de tipología o procesos productivos, esta información, es clave para comprender las relaciones entre las diferentes culturas de una región o continente dado. La implementación de datos analíticos vinculados a esas tradiciones cerámicas (bien los obtenidos de las muestras cerámicas como la de los sedimentos próximos a los yacimientos de los que proceden éstas) y su puesta en relación con los datos geológicos permiten profundizar en el conocimiento de detalle de la circulación territorial de esos objetos y de forma indirecta de las personas que los fabricaron, usaron o intercambiaron, contribuyendo así a confirmar o descartar hipótesis de trabajo.

Por esa razón, en el marco del presente proyecto se consideró que, junto al conocimiento analítico ya adquirido de muestras cerámicas y geológicas (obtenidos en dos proyectos anteriores⁶), era imprescindible conocer de la forma más detallada posible la geología, de manera que permitiera establecer una relación entre los resultados analíticos disponibles y la base geológica. Al inicio del estudio, se detectó que la cartografía geológica de mayor detalle (MAGNA50) no es homogénea y es difícil para trabajar de modo sistemático con los datos. Esto es debido a que los mapas geológicos se elaboraron en diferentes momentos, con diferentes equipos y condiciones de trabajo. Por otro lado, la inclusión de un elevado número de yacimientos y de cerámicas arqueológicas hace

5 <http://www.ucl.ac.uk/archaeology/research/directory/beaker-people-parkerpearson>; http://www.wessexarch.co.uk/projects/amesbury/tests/oxygen_isotope.html

6 *Los estilos cerámicos en la Prehistoria de Galicia: tecnología, materias primas y circulación* (HAR2010-17637) (2010-PN253), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, Plan Nacional de I+D+I 2008-2011, Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental (2010-2).

Aplicación de técnicas arqueométricas ó estudio da cerámica antiga da Galiza (PGIDIT07PXIB236075PR) (2007-PG203) financiado por el Programa de Promoción Xeral de Investigación do Plan Galego de Investigación, Desenvolvemento e Innovación Tecnolóxica (INCITE), Convocatoria 2007. Dirección Xeral de Investigación, Desenvolvemento e Innovación (I+C+I), Xunta de Galicia (2007-9).

necesaria la automatización de las tareas, para poder ser operativos y estandarizar el proceso, y esto únicamente se puede alcanzar a través de la integración de toda la información dentro de un SIG.

Con este objetivo se plantea este trabajo, para establecer la metodología y los protocolos de trabajo necesarios para poder combinar información arqueológica, arqueométrica y geológica MAGNA50 dentro de un SIG y en una primera fase llevar a cabo un análisis espacial de procedencias en base a la comparación mineralógica. Se comienza por la mineralogía puesto que es la información más ampliamente divulgada en la cartografía geológica que nos permite identificar posibles áreas fuentes de materias primas. Para lograr el objetivo principal, se han establecido otros objetivos de menor entidad ligados a las diferentes fases de trabajo:

- Tabular los datos arqueológicos y arqueométricos para introducir en el SIG.
- Depurar la cartografía geológica a través de la identificación de posibles imprecisiones entre códigos y nombres de rocas de las hojas y las memorias de los mapas geológicos.
- Homogeneizar las áreas limítrofes en las hojas geológicas, para lograr una mayor continuidad en la información geológica.
- Hallar la correspondencia entre las unidades geológicas de las versiones clásicas del MAGNA50 y las existentes en la cartografía digital disponible en formato SIG. Esto es, establecer las equivalencias de códigos alfanuméricos de la cartografía geológica en papel y los actuales códigos numéricos de la digitalizada.
- Generar una nueva clasificación más generalista de las rocas y bajo un criterio mineralógico: grupos lito-mineralógicos.
- Estudiar la mineralogía de las rocas implicadas en el territorio de la investigación y relacionarla con la composición de las cerámicas⁷.
- Introducir en el SIG la información arqueológica y geológica elaborada (tablas arqueológicas y capas de la información geológica ya depurada).
- Establecer un caso de estudio para validar la metodología y los protocolos establecidos e iniciar así cálculos de distancias en base a la información mineralógica disponible.

BASE EMPÍRICA

Yacimientos, muestras e información arqueométrica generada

La información arqueológica incluida en el SIG es la relativa a 600 recipientes cerámicos procedentes de 23 yacimientos prehistóricos de Galicia. Estos yacimientos son variados en cuanto a contexto y cronología, abarcando una adscripción cultural desde el Neolítico Inicial hasta Época Moderna.

⁷ Establecer esta relación consiste en: 1) identificar la mineralogía principal de las rocas, 2) identificar la mineralogía de las pastas cerámicas y 3) deducir el tipo de roca a partir del cual se debió de elaborar cada una de las cerámicas (materias primas de origen granítico, esquistoso, etc.).

Todos ellos se analizaron arqueométricamente y se dispone información mineralógica y geoquímica (y en un 18% datos de isótopos de Pb y Sr) que también se ha incluido en el SIG⁸.

También se han incluido la información analítica (mineralogía, geoquímica e isótopos de Pb y Sr) de 103 muestras geológicas seleccionadas de zonas representativas de la variedad litológica del territorio estudiado (figura 2 para la distribución de yacimientos y muestras de sedimentos).

La información arqueométrica de las cerámicas se incluye completa en el SIG, si bien en este trabajo se utilizará únicamente la información mineralógica para realizar un caso de estudio de cálculo de distancias a fuentes potenciales de materias primas. El motivo de incluir toda la información arqueométrica es doble, por un lado se pretende tener toda la información disponible preparada para futuros estudios y por otro lado, se hace necesario establecer un protocolo y estandarización de los datos, sobre todo en cuanto al formateado de tablas, de forma que la inclusión de nuevos hallazgos e información en el SIG sea mucho más directa.

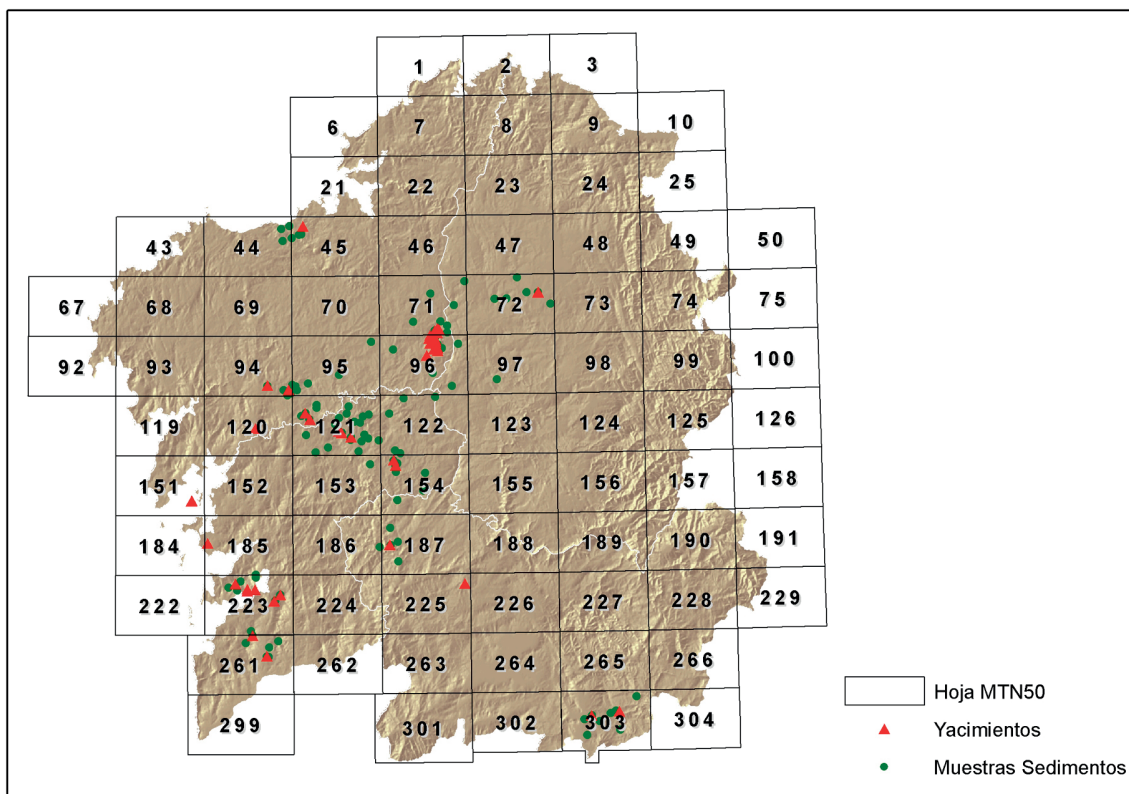


Figura 2. Localización de yacimientos (en rojo), sedimentos (en verde) y distribución de hojas de la cartografía MAGNA, a escala 1:50.000 de Galicia.

8 La mineralogía se ha determinado por Difracción de rayos X de Polvo Cristalino. El análisis geoquímico se determinó por Fluorescencia de rayos X de Energía Dispersiva. Los análisis de isótopos de Pb se realizaron con Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente y Multicolector secuencial (ICP-MS-MC). La mineralogía y la geoquímica se determinaron en la Unidad de Arqueometría de la RIADIT (Universidad de Santiago de Compostela) por D. Oscar Lantes Suárez y los análisis isotópicos se realizaron en el C.A.C.T.I. (Universidad de Vigo) por Dr. Jorge Millos.

Cartografía geológica

Se ha utilizado la información geológica contenida en 41 mapas geológicos de la cartografía MAGNA50, la de mayor detalle a escala nacional, elaborada por el I.G.M.E, en formato papel, pdf y vectorial (adecuada para trabajar en el SIG). Estos son los mapas n^o: 6, 22, 23, 24, 45, 46, 47, 48, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 93, 94, 95, 96, 98, 119, 120, 121, 122, 123, 151, 154, 155, 184, 187, 188, 222, 223, 225, 226, 227, 228, 261, 262, 263, 264, 303 (ver referencias completas en el apéndice bibliográfico). En la actualidad, se está trabajando en la inclusión de los mapas n^o: 21, 44, 97, 152, 153, 156, 185, 186, 299, 302, 265, 266, 304. Éstos últimos, son los que completan el radio de 30 km² para los últimos yacimientos añadidos al estudio. En un futuro próximo será deseable añadir el resto de la cartografía geológica de Galicia, para poder extender el ámbito de actuación a cualquier yacimiento de la comunidad autónoma.

Antes de centrarnos en la metodología y los protocolos de trabajo, conviene describir las características de la cartografía geológica, pues es importante para comprender el desarrollo del proceso metodológico llevado a cabo en este proyecto.

Galicia dispone de 82 hojas a escala 1:50.000. Cada mapa editado en papel y en la actualidad también en pdf, consta de dos partes, por un lado una hoja y por otro, una memoria. La memoria está dividida en varios apartados entre los cuales figuran: introducción, estratigrafía, tectónica, historia geológica, petrología, geología económica y bibliografía. La profundidad que se aborda en cada memoria es muy variable, en función de la información de la que se disponía previamente y del trabajo realizado en la propia elaboración del mapa.

El aspecto que más nos interesa en estos momentos es el relativo a las descripciones mineralógicas de las rocas, pues a partir de ellas realizaremos una simplificación de las litologías existentes. Estas descripciones están contenidas dentro de los apartados de estratigrafía y petrología. Por lo general, la descripción de la mineralogía de las rocas de tipo esquisto y depósitos terciarios y cuaternarios se recogen en el apartado estratigrafía, y son en ocasiones muy pobres o inexistentes en el apartado de petrología. Las descripciones mineralógicas de las rocas magmáticas ácidas y básicas, metamórficas de tipo neises y anfibolitas y las rocas filonianas, se recogen en el apartado de petrología.

Los códigos que se utilizan para etiquetar cada tipo de roca, surgen de la combinación de letras del alfabeto griego, del latino, caracteres numéricos, guiones y puntos y algunos de ellos en formato de superíndice o subíndice. La mayoría de los caracteres se dotan de un significado geológico pues bien identifican el tipo de roca, su edad, la presencia de algunos minerales concretos, etc. Así, por ejemplo, el símbolo “γ”, nos informará de que se trata de un granito, mientras que si aparece “γη” lo que se describe es una granodiorita, o bien si nos encontramos el código “PC”, hará referencia a esquistos Precámbricos y si se etiquetan con una “O” se tratará de esquistos Ordovícicos. Hay que resaltar que, en algunos casos, la aparición de un carácter, lo que hace es modificar o matizar el significado de otro carácter. En la figura 3 se resumen los significados de los caracteres que se utilizan con mayor frecuencia.

EDAD GEOLÓGICA		TIPOS DE ROCAS	
PC	Precámbrico	p	pizarras
CA	Cámbrico	ξ	esquistos
O	Ordovícido	ζ	neises
S	Silúrico	w	grauwackas
T	Terciario	ψ	migmatitas
Q	Cuaternario	Nγ	ortoneis
FORMACIONES CUATERNARIAS		NG	ortoneis
C	coluviones	γ	granito
Al	aluvial	γη	granodiorita
M	marismas	T	tonalita
P	playa	ρ	riolitas
D	dunas	MV	metavulcanitas
RL	rasa litoral	ξA	anfibolitas
MINERALES		θ	gabros
b	biotítica	E	eclogitas
m	moscovítica	c	calizas
SILL	sillimanita	Δ	mármoles
OTROS CARACTERES		F	rocas filonianas
v	grafitoso	γ	cuarcitas
n	negro, carbonoso	q	cuarzo, cuarcitas
1	megacristales	P	pegmatitas
2	grano grueso	A	aplitas
3	grano medio	L	lamprófido
4	grano fino	M	(metamorfismo)

Figura 3. Leyenda de los caracteres más frecuentes que se combinan para formar los códigos alfanuméricos utilizados en los mapas geológicos del I.G.M.E 1:50.000, segunda serie, primera edición.

En muchas ocasiones se producen confusiones en la utilización de los códigos entre la memoria y la hoja de un mismo mapa, entre otro tipo de errores. En apartados posteriores comentaremos algunos de las faltas más frecuentes que hemos detectado, pero se debe de reconocer que, a pesar de estos problemas, la gran mayoría de los mapas tienen una calidad muy alta y poseen un cierto componente didáctico (por citar un ejemplo, el mapa nº 188 explica con una gran claridad la génesis de la formación *Olo de Sapo*) y además, hay que destacar que los mapas del Noroeste Peninsular han sido los pioneros de la cartografía geológica 1:50.000 de España⁹.

En la actualidad, también se dispone de cartografía digital MAGNA, de acceso a través del I.G.M.E. Ésta, incluye toda la información necesaria para confeccionar los mapas clásicos impresos en papel, tanto la información geográfica (en formato vectorial *shape* y *cobertura*), como los datos relativos al estilo tales como documentos de mapa en formato *mxd*, ficheros de simbolizado tipo *layer (lyr)* y *style* y manual de estilo en pdf, que describe los colores, tramas o tipos de línea a emplear de cada hoja. Con respecto a estos últimos hay que tener en cuenta que estos ficheros *mxd*, *lyr* y *style*, son específicos para el software privativo ArcGIS®, y por lo tanto, de cara a replicar la estética de cualquier hoja en otro programa de SIG, es necesario remitirse al documento de estilo y preparar manualmente los simbolizados o elaborar los demás elementos gráficos (leyendas, marcos de coordenadas, cajetines, etc).

⁹ Es destacable que son pocos los Estados que disponen de una cartografía generalizada de esta escala.

En cuanto a los datos geológicos, para cada hoja a escala 1:50.000 se dispone de capas geográficas relativas a Unidades Cartográficas Geológicas (UCG), es decir, los tipos de rocas, así como contactos y otros límites, fallas, estructuras de plegamiento o medidas estructurales, entre otras. De cara a este proyecto, la única información geológica que se ha tratado en el SIG son las UCG, que el I.G.M.E define como superficies que representan todos aquellos cuerpos rocosos diferenciados por sus propiedades litológicas, genéticas y cronológicas (PÉREZ CERDÁN *et al.* 2012), es decir, la estratigrafía y petrografía. En esta cartografía digital MAGNA50, las UCG aparecen identificadas mediante un campo numérico denominado ID, y que se equipara con los antiguos códigos alfanuméricos que pueden leerse en las versiones más antiguas impresas del MAGNA50 o en las memorias descriptivas de cada hoja (figura 4 como ejemplo gráfico).

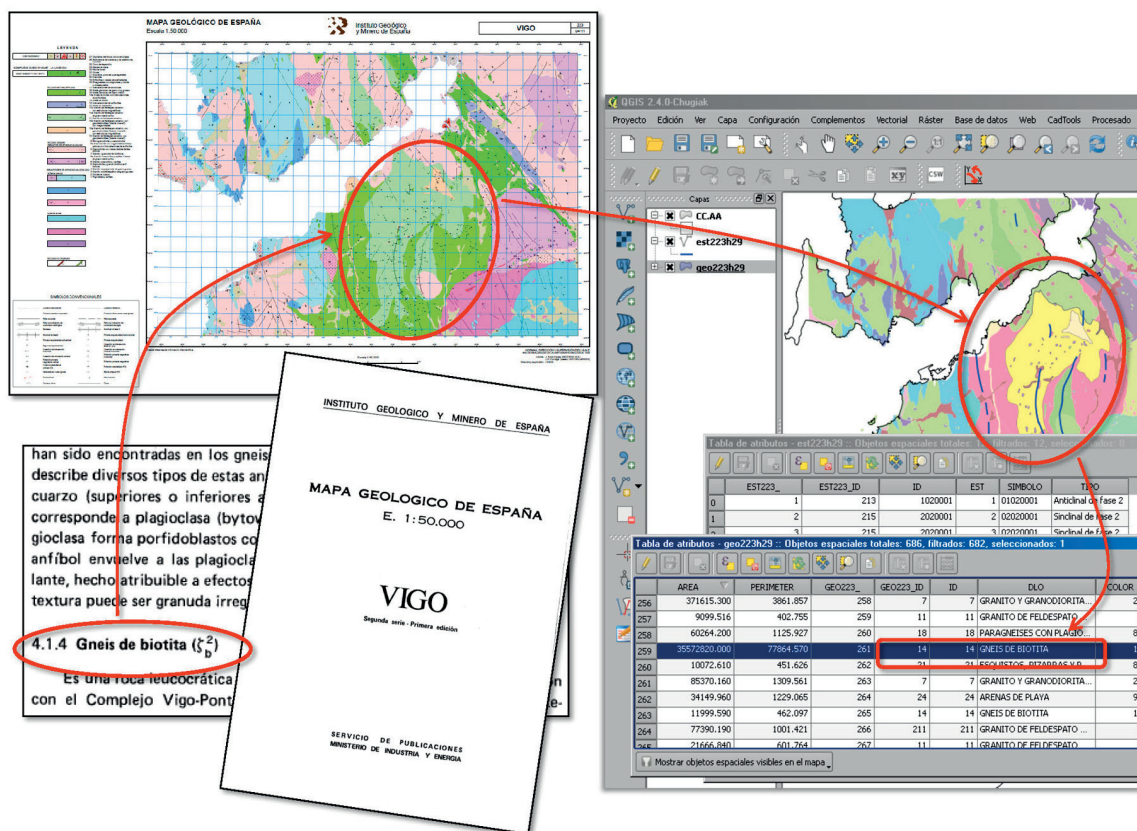


Figura 4. Relación entre la cartografía clásica impresa y la digital para la UCG "Gneiss de biotita" de la hoja número 223 (Vigo): A la izquierda, vista del mapa impreso e imagen de su memoria descriptiva. A la derecha, programa de SIG con las capas de información de UCGs y estructuras de plegamiento de dicha hoja, ambas con sus geometrías y tablas de atributos asociadas.

Sin embargo, si bien el modelo de datos del MAGNA es claro y la correspondencia o relación entre los distintos archivos que completan esta base cartográfica digital está bien definida (PÉREZ CERDÁN *et al.* 2012), la completa explotación de estos datos adolece de ciertos problemas. La mayoría de ellos son consecuencia de la propia generación de esta información geológica (distintos autores y dilatada cronología de elaboración, como se comentó anteriormente) ya que cada hoja funciona como un compartimento

estanco, de modo que no hay continuidad en la información entre hojas consecutivas. Este hecho complica de forma importante el análisis de la información geológica junto con los datos arqueométricos y arqueológicos.

METODOLOGÍA Y PROTOCOLOS DE TRABAJO

Nos centraremos en este apartado en la fase de integración de los datos espaciales, tratando en detalle el sistema de información geográfica y la cartografía geológica.

De cara al sistema de información geográfica, dada la versatilidad y capacidad de cálculo, se ha optado por emplear principalmente software libre, en concreto el programa QGIS, tanto para el tratamiento de datos, como para la elaboración de salidas gráficas. En este software se ha realizado la importación de las bases de datos arqueológicas y arqueométricas correspondientes a las cerámicas, yacimientos y muestras geológicas, que se encontraban en formato tabular. Se han elaborado también la mayoría de salidas gráficas, tanto figuras ilustrativas para documentos, como mapas y planos de situación, contexto o detalle. También se está utilizando este software para realizar los cálculos geográficos tales como distancias entre yacimientos, sedimentos y unidades geológicas y determinación de rutas de aprovisionamiento de materias primas, en base a la composición mineralógica de las cerámicas, que se describirá en el apartado “Un caso de estudio: Análisis espacial en base a la información mineralógica”.

Finalmente, la incorporación de la nueva información geológica generada, es decir, las bases de datos tabulares con los códigos tradicionales (caracteres griegos y otros), se ha efectuado en el software SIG privativo ArcGIS® de la empresa ESRI. Dicha elección vino motivada por ciertos errores en el reconocimiento de algunos caracteres por parte de QGIS. A la hora de importar las tablas con el alfabeto griego, tanto en QGIS como en ArcGIS es posible seleccionar la codificación de caracteres adecuada para los datos que se quieren mostrar. Sin embargo en QGIS, ciertos símbolos provocaron errores sistemáticos, independientemente de la codificación escogida. Por lo tanto se optó por realizar la importación de las tablas en ArcGIS, de ahí se exportaron de nuevo, ya con codificación UTF-8, tal y como recomienda la directiva INSPIRE (INSPIRE DRAFTING TEAM "DATA SPECIFICATIONS" 2014). Una vez asociada esta información a la cartografía digital geológica, el trabajo se ha continuado en software libre.

Seguidamente, expondremos los pasos realizados para poder conseguir una integración de la información y, como veremos, la mayor complejidad del trabajo se centrará en la parte relacionada con la cartografía geológica.

Importación de la información arqueológica, arqueométrica y geológica en el SIG

Los datos de partida a incorporar al GIS en este trabajo son de dos tipos principales: información alfanumérica tabular y datos ya en formato adecuado para trabajar directamente en un sistema de información geográfica, como es el caso de cartografía geológica MAGNA.

Entre los primeros se incluyen una tabla correspondiente a la localización de los yacimientos arqueológicos, ocho tablas con las características de las cerámicas analizadas (yacimiento, descripción arqueológica, color, textura, composición mineralógica, geoquímica e isotópica) y tres más relativas a localización y composición de las 103 muestras geológicas, extraídas en el entorno de los yacimientos. La incorporación de las tablas de localización de yacimientos y muestras geológicas al SIG fue directa, ya que se contaba con las coordenadas geográficas de cada entidad. En este caso, el SIG identificó la posición geográfica de cada elemento, a través de la lectura directa de sus coordenadas, dando como resultado lo que en estos programas se conoce como capa de eventos. En dicha capa, el programa marca, mediante puntos, la localización resultante de la lectura de cada par de coordenadas XY. Dicha operación se ha llevado a cabo en varias fases debido a la disparidad de formatos y sistemas de coordenadas observados en las tablas. En cuanto al resto de información, la introducción de los datos ha sido indirecta, mediante su vinculación con las capas de eventos anteriormente creadas. Para ello fue necesario localizar información en común entre las capas geolocalizadas y las tablas a asociar. En ambos casos, la columna de unión ha sido el código identificativo de los yacimientos y de los sedimentos, que en algunos casos ya existía y en otros ha sido necesario introducirlo.

Por su parte, en cuanto a la información geológica digital del MAGNA su formato ya era adecuado, pero se hizo imprescindible asignar a cada UCG el código identificador alfanumérico clásico y grupo litológico para poder ligar esta información con la descripción mineralógica de las rocas recogida en las memorias de los mapas. Y por otro lado era necesario determinar correspondencias entre unidades geológicas de hojas consecutivas, para poder extender los análisis a un nivel regional. Hay que recordar que las memorias de los mapas todavía mantienen los códigos antiguos, con caracteres griegos, mientras que en las hojas digitalizadas se dispone ya de los nuevos códigos numéricos ID. Todo este trabajo adicional relativo a la mejora de la cartografía geológica se explica con más detalle en los siguientes apartados.

De acuerdo a la normativa actual vigente sobre sistemas de coordenadas (BOE 2007), toda la información SIG se ha transformado al marco de referencia oficial español ETRS89 UTM29 (EPSG 25829), y se ha convertido a la codificación UTF-8, para adecuarse a los estándares y recomendaciones de la directiva INSPIRE de la Unión Europea (INSPIRE DRAFTING TEAM "DATA SPECIFICATIONS" 2014) y que son de aplicación para toda la información geográfica de los estados miembros. Estas conversiones se han realizado también en la cartografía digital MAGNA original y derivada.

Asignación de los códigos de equivalencia de clases en los mapas geológicos

Los mapas digitales utilizan nuevos códigos de números correlativos (1, 2, 3,...) para etiquetar las rocas en sustitución de los códigos antiguos alfanuméricos (p. e.: $Ca_{2-3}O_{12}d_2Y^2$; $3^4Y^2_{mb}$). Es el ya reseñado código ID. En la información que acompaña a las versiones digitales de los mapas, no se proporciona una tabla de equivalencias entre ambas, por lo que ha sido necesario establecerla de modo manual, cotejando las leyendas que aparecen en las hojas de papel y en las digitalizadas para cada uno de los mapas, y contrastando la

información con la que aparece en las memorias, tanto a nivel de coherencia de códigos como de los nombres de las rocas. La traducción de los códigos no es directa y requiere un trabajo de contraste detallado.

Además de establecer las equivalencias, en esta fase se registró información adicional. Se incluyeron todos los casos en los cuales se habían detectado discrepancias entre los códigos y nombres de las rocas en ambos tipos de hojas y en la memoria. También se registraron los códigos (numéricos y alfanuméricos) que tenían cada roca en los mapas limítrofes, en el caso de que se tratase de rocas que transvasaban al menos en una hoja. La incorporación de estos datos adicionales es muy importante pensando en revisiones futuras de alguna litología concreta, así como en el proceso de unión de rocas de mapas contiguos.

Toda esta información se reunió en sendas tablas de equivalencias (una para las hojas con yacimientos y otra para las del entorno de 30 km) que se elaboraron a partir de la fusión de las tablas de atributos *ley[hoja][uso].dbf* de las leyendas digitales, en formato shapefile. El sufijo [hoja] hace referencia al número de mapa. Dichos ficheros contienen el listado de UCG de cada hoja y pueden relacionarse directamente con la cartografía geológica a través del código numérico ID. Para que en la cartografía unificada, obtenida al final de estos trabajos, se pueda identificar la hoja de origen de cada UCG previo a la fusión, a cada leyenda se le añadió una nueva columna (HOJA), con el número del mapa.

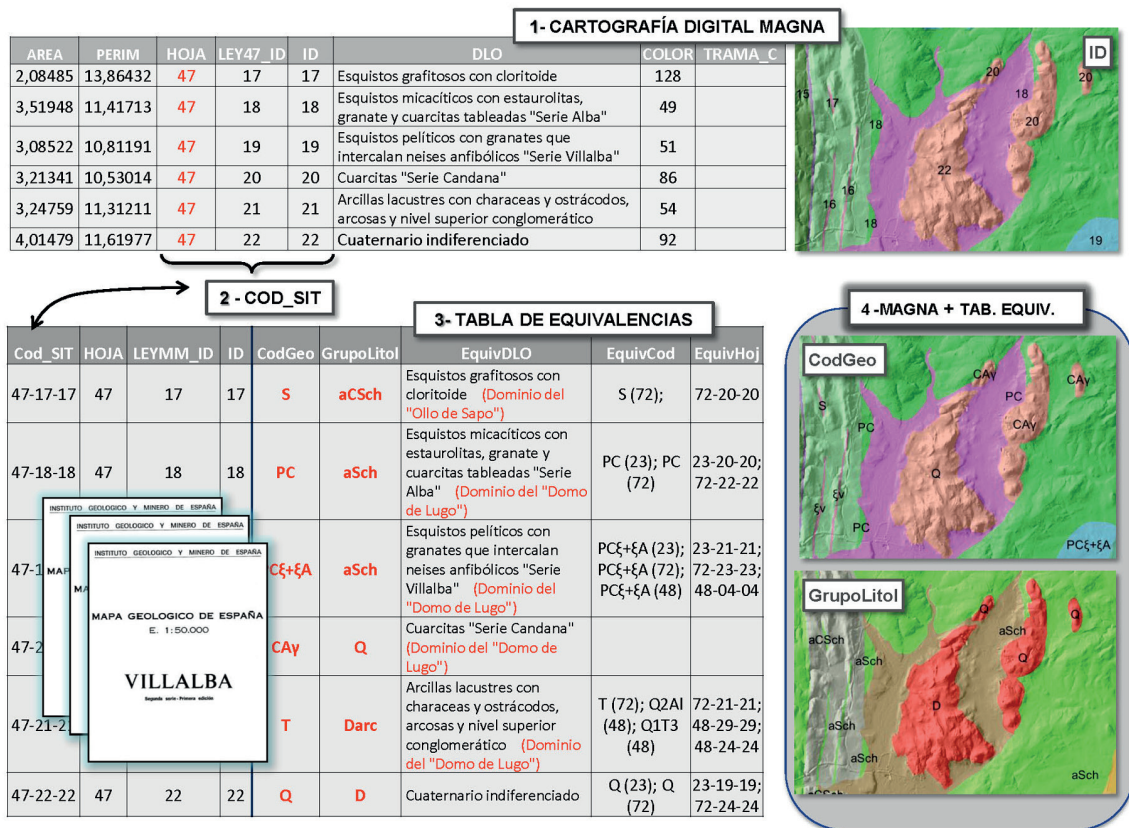


Figura 5. Flujo de trabajo de la información geológica, señalando en granate los nuevos datos incorporados. 1) Asignación a la cartografía digital del número de hoja a cada UCG. 2) Construcción del código de enlace (COD_SIT) mediante la concatenación de los campos HOJA, LEY[HOJA] e ID. 3) Construcción de la tabla de equivalencias a partir de la fusión de las hojas del MAGNA y asignación, a partir de las memorias descriptivas, de códigos clásicos, grupos litológicos y equivalencias entre hojas. 4) Enlace de nuevo con la cartografía original MAGNA a partir de COD_SIT y representación y análisis de la nueva información en el SIG.

A continuación en estas tablas de equivalencia, a cada clase geológica se le asignó manualmente su código tradicional y grupo litomineralógico y se determinaron correspondencias con otras hojas. Para facilitar la posterior integración en el SIG y asegurar la trazabilidad y correcta identificación de cada UCG, se creó un código identificativo de cada elemento (COD_SIT), a través de la concatenación del número de hoja (HOJA), campo ID y campo LEY[Hoja]_ID de la leyenda. Una vez completadas las tablas de equivalencia con toda la información adicional necesaria para este proyecto, dicho código será empleado para vincular de nuevo estas tablas con la cartografía digital de las UCG, completando así la información geológica de este Sistema de Información Geográfica (figura 5).

Establecimiento de Grupos Lito-mineralógicos

Los tipos de rocas que aparecen en la litología de Galicia son muy variados y abarcan composiciones muy extremas desde muy ácidas (con minerales félsicos predominantes) como p. ej. rocas cuarcíticas puras a otras ultrabásicas (con minerales máficos predominantes) como p. ej. peridotitas. Se corresponden además a génesis muy diversas de tipo magmático, metamórfico y sedimentario formadas en diversas épocas geológicas. Esto conlleva que el mapa geológico de Galicia sea muy complejo y formado por muchos tipos (y/o subtipos) de rocas diferentes (referidos en la versión digital como Unidades Cartográficas Geológicas o UCG). Esta complejidad es muy superior a la requerida por los objetivos de muchos entornos de trabajo y además se ve entorpecida por la discontinuidad inherente a la cartografía geológica del MAGNA50. En el ámbito de la arqueometría cerámica, y en especial en el caso que nos ocupa, nos interesa en realidad conocer la variabilidad mineralógica del territorio, pues es la que luego compararemos con la composición mineralógica de las pastas cerámicas. Por lo tanto, para este proyecto se clasificaron todas las rocas (o UCG) en doce grupos lito-mineralógicos en base a su composición mineralógica predominante.

La asignación de cada roca a un grupo lito-mineralógico es sencillo en ocasiones (un dique de cuarzo pertenecerá sin duda al grupo litológico “cuarzo y rocas cuarcíticas”), pero en otras es bastante difícil y requiere revisar en profundidad la descripción mineralógica de cada una de las rocas en las correspondientes memorias. Los grandes grupos lito-mineralógicos establecidos y los criterios utilizados se recogen en la tabla de la figura 6. Estos criterios, se basan en el estudio global de las descripciones mineralógicas de las memorias de los mapas geológicos, para poder lograr un número de grupos coherentes y al mismo tiempo no demasiado numeroso. La clasificación mineralógica propuesta, se cotejó *a posteriori* con la mineralogía determinada experimentalmente en las muestras geológicas analizadas, comprobándose la validez general de la misma¹⁰.

De este modo, se simplifica enormemente el mapa geológico, con la gran ventaja de que al trabajar en un SIG, se puede subir o descender de un nivel de precisión a otro siempre que sea necesario, y sin pérdida de información. Así en otras fases posteriores de trabajo se podrá utilizar la totalidad de las rocas o bien generar otra clasificación de las rocas, según se necesite.

10 Este trabajo se está desarrollando en la tesis doctoral –en fase de elaboración– de uno de los autores (OLS) titulada ‘Arqueometría de cerámica prehistórica y antigua de Galicia: caracterización, tecnología y materias primas. Aportaciones metodológicas’.

Grupo Lito-mineralógico	Descripción
<i>Rocas graníticas alcalinas</i>	granitos y ortoneises con feldespato K predominando sobre plagioclasa
<i>Rocas graníticas calcoalcalinas</i>	granodioritas, granitos y ortoneises con plagioclasa predominando sobre feldespato K
<i>Esquistos ácidos</i>	esquistos ácidos pizarras, esquistos y paraneises, muy ricos en micas, cloritas, y pobres en plagioclasas, anfíboles, etc.
<i>Esquistos ácidos carbonosos</i>	esquistos ácidos carbonosos pizarras, esquistos y paraneises ácidos muy ricos en material carbonoso o grafito
<i>Esquistos básicos</i>	esquistos básicos pizarras, esquistos verdes, esquistos y paraneises con anfíbol y/o plagioclasa cálcica
<i>Anfibolitas</i>	anfibolitas anfibolitas y gneises anfibólicos
<i>Rocas básicas</i>	gabros, doleritas y otras rocas con piroxenos
<i>Rocas ultrabásicas</i>	rocas de tipo peridotítico y anfibolitas hidrotermalizadas y metasomatizadas ricas en Mg
<i>Cuarzo y rocas cuarcíticas</i>	cuarzo, cuarcitas, areniscas y diques y filones de cuarzo
<i>Material detrítico</i>	fragmentos detríticos de rocas, gravas, arenas limos y arcillas del Terciario y Cuaternario
<i>Material detrítico arcilloso</i>	material detrítico muy arcilloso (reconocido como tal en la bibliografía)
<i>Rocas calcáreas</i>	rocas calcáreas calizas, mármoles, sedimentos con carbonatos
<i>Otras</i>	cursos de agua dulce y marina, fronteras y otras estructuras no litológicas

Figura 6. Tabla de grupos lito-mineralógicos.

Problemas detectados relativos a la cartografía geológica

La cartografía geológica presenta incoherencias o errores que deben de ser subsanados en la medida de lo posible para poder ser integradas adecuadamente en el SIG. Estos errores se detectan en especial en los mapas impresos (hojas y memorias) y en menor medida en las versiones digitales.

En los mapas impresos, los errores se pueden clasificar en dos grandes tipos, los localizados dentro de un mismo mapa (Errores Intra-mapa) y los que surgen a la hora de intentar combinar hojas limítrofes (Errores Inter-mapa):

1. Errores Intra-mapa. Los errores detectados son de seis tipos, casi siempre relacionados con el sistema de codificación alfanumérica:

1.1. Divergencia de nombres. No coincide el nombre de la roca empleado en la leyenda de la hoja y en su memoria correspondiente. Así, p. ej. en la hoja nº 98 las *flitas pelíticas algo carbonosas* (O_{2-3}) se denominan *pizarras de Luarca* en su memoria. O bien en la misma hoja, el *granito de dos micas* ($d\gamma^2$) se nombra como *leucogranodioritas* en la memoria. O en la hoja nº 123, las *pizarras grises y negras* (O_{1p}) se nombran como *pizarras, areniscas y cuarcitas* en su memoria. Otro ejemplo pueden ser las flitas verdes mencionadas en la hoja nº 70 que pasan a llamarse *metapelitas* en su memoria. En la gran mayoría de los casos, las variaciones en el nombre no son muy importantes o bien de trata de sinónimos geológicos, pero estas imprecisiones o cambios dificultan enormemente la interpretación de la información, puesto que en gran parte de la cartografía geológica, una pequeña y muy sutil diferencia en un nombre se utiliza para definir dos tipos distintos de rocas.

1.2. Divergencia de códigos. No coincide el código alfanumérico empleado para una misma roca entre la hoja y la memoria. Citamos dos ejemplos en el mapa 262, donde el código de la roca es ${}^e_{2-3}Y^2$ en la leyenda de la hoja y se transforma a ${}^h_{2-3}Y^2$ en la memoria correspondiente, o la roca ${}^h_{3-4}\Phi^2$ que pasa a denominarse ${}^h_{3-4}Y^2$. Estos casos son bastante frecuentes y problemáticos, debido a que en ocasiones, diferencias en los códigos más sutiles representan a rocas diferentes.

1.3. Rocas no mencionadas en las memorias. En menor medida, algunas rocas tan solo aparecen reflejadas en las leyendas de las hojas y no se llega a realizar ninguna descripción ni mención en las memorias. Un ejemplo pueden ser las *meta-riolitas* y otras rocas próximas Cámbrico-Silúricas del mapa nº 225.

1.4. Rocas no mencionadas en las hojas. Otros casos poco habituales son las rocas que tan solo aparecen reflejadas en las memorias. Es el caso de las anfibolitas y piroxenitas mencionadas en la memoria nº 263, que no aparecen cartografiadas en su hoja correspondiente (ni después en la cartografía digital). La identificación de este tipo de rocas en concreto es muy importante en este tipo de estudios de procedencia, puesto que nos sirven de indicador para detectar el origen de fuentes de aprovisionamiento de tipo anfibólico, debido a que no tienen una distribución generalizada en el territorio. En otras ocasiones, rocas de este tipo aparecen en manchas dentro de otras rocas, pero en estos casos sí se indica su presencia en las memorias aunque no lleguen a cartografiarse por su reducido tamaño.

1.5. Ausencia de codificación en las memorias. No figuran los códigos alfanuméricos en la memoria (o no se citan para muchas rocas). En estos casos, en los que no se identifica el código de la roca en la memoria, es extremadamente difícil identificar la misma en la leyenda del mapa, agravado además porque los nombres que se suelen utilizar para definir estas rocas tampoco suelen coincidir entre hoja y memoria. Estos casos no son muy frecuentes, pero sí los que más energía absorben, puesto que es necesario disponer de bastantes conocimientos geológicos y requieren de una interpretación en profundidad de toda la información para poder asignar cada descripción con su roca correspondiente en la hoja. A veces invalida completamente la descripción de la roca puesto que no se puede llegar a asignar con seguridad a una roca concreta. Este hecho, por ejemplo, se constató claramente en la descripción de las rocas metamórficas del mapa nº 155.

1.6. Ausencia del título descriptor en la memoria. No figura el nombre de la roca al inicio de un párrafo o apartado de una memoria. Es decir, no se titula un texto descriptivo con el nombre de la roca, sino que se inicia la descripción y más adelante se cita la roca de un modo genérico sin que coincida el nombre con el que aparece en la leyenda de la hoja (ej. “*esquistos grafitosos del dominio...*”), lo que también dificulta, o retarda, la extracción de la información mineralógica de interés.

2. Errores Inter-mapa. Estos errores surgen a la hora de intentar unir los mapas geológicos fronterizos, algo fundamental para poder combinar las hojas en el SIG. Son de cuatro tipos:

2.1. Divergencia de códigos. Los códigos alfanuméricos de una misma roca en hojas limítrofes son diferentes. En el conjunto de los 41 mapas geológicos estudiados, existen 49 líneas de frontera. 273 de las rocas (o UCG) sobrepasan esas líneas frontera estando

presentes en al menos dos hojas. En este conjunto de rocas, en un 61%, el código utilizado es similar, pero en un 39% éste es ligeramente diferente (p. ej. $PC\xi \rightarrow PC\zeta$) o incluso totalmente distinto (p. ej. $\xi_A^{1-2} \rightarrow b\theta^1$; $Ca_2-O_{11} \rightarrow Ca_{2-3}O_{12}^1$ o $d_2\gamma^2 \rightarrow 3-4Y_{mb}^2$). Este hecho, complica enormemente combinar hojas, puesto que la información de partida presupone que son rocas diferentes.

2.2. Divergencia de nombres. Los nombres de las rocas, son diferentes entre hojas limítrofes. Si se analizan los años de publicación de los mapas, se puede comprobar cómo estas divergencias en códigos y nombres se producen en la mayoría de los casos cuando son muy distintos los años de publicación de los mapas y siempre suelen coincidir cuando éstos son coetáneos.

2.3. Divergencia en la clasificación de la roca. En estos casos, no sólo se cambian los nombres, si no que la roca se identifica de un modo diferente, según haya interpretado cada autor (p. ej. una anfibolita que se clasifica como gabro en la hoja limítrofe). Estas divergencias, son críticas en especial en la fase de homogeneización de las hojas digitales y en el establecimiento de los grupos lito-mineralógicos, puesto que puede ser el caso de que una roca se integre en un grupo en un mapa y su continuación en otro mapa se deba de asignar a otro grupo diferente basándose en la descripción mineralógica que figure en su memoria. Un ejemplo que podemos citar, es la confusión que se produce entre granitos y granodioritas. El mapa 122 describe una mancha de granitos de dos micas ($_{3-4}Y_{mb}^2$) e indica que se trata de granitos alcalinos (y no granodioritas) y, sin embargo en los mapas 96, al Norte y 154, al Sur, las rocas se unen coherentemente y se indica de modo claro y aportando porcentajes minerales (con predominancia de plagioclasas respecto a los feldespatos potásicos), que son granodioritas. Para la resolución de estos casos conflictivos se procuró interpretar convenientemente el conjunto de la información mineralógica existente, y en los casos en los que no era posible, se siguió fielmente la descripción aportada en la bibliografía existente y se han tenido que tratar como rocas diferentes.

2.4. Divergencia cromática en la clasificación de la roca. Los colores con los que se representan las mismas rocas varían en hojas limítrofes. Este hecho, destaca enormemente cuando se unen directamente varios mapas limítrofes, evidenciando más el contorno de cada tesela del mosaico, que la continuidad natural de las rocas. (puede verse este efecto en los mapas digitales que se representan en la figura 1).

2.5 Desaparición súbita de alguna roca de un mapa a otro. Esta circunstancia es mucho menos frecuente que las anteriores. Por ejemplo, los gabros ($b\theta^1$) de la hoja nº 70, no continúan en la hoja 95 (solo se cartografían los neises migmatíticos predominantes (PC-S $\zeta\phi$). En algún otro caso se observó como una roca, una banda con entidad única como CA-O ξ (hoja 155) se interpretó como dos bandas o dos rocas diferenciadas en la hoja colindante: O $_{2-3}$ y O $_{12}$ (hoja 156). Este hecho, se explica fácilmente, entendiendo que el grado de precisión o resolución a la hora de cartografiar el territorio no es el mismo en todos los mapas, así algunos de ellos como la hoja nº 48 goza de un gran detalle y otras como las nº 72, 154 y 187 tienen una resolución, al menos, aparentemente, algo menor.

En cuanto a las versiones digitales de los mapas, se apreciaron dos tipos de errores:

3.1 La denominación literal de las UCG o su código ID cambia entre hojas adyacentes.

3.2. Falta una equivalencia clara entre los nuevos códigos numéricos de la cartografía digital y los antiguos que todavía se emplean en las versiones clásicas del MAGNA y que son los únicos que pueden consultarse en las memorias de cada hoja o en las versiones impresas de estos mapas.

Ambas cuestiones dificultaron enormemente la relación entre las UCG y los análisis mineralógicos y geoquímicos de las cerámicas.

Estos problemas que surgieron en torno a la cartografía geológica tuvieron que ser resueltos, manualmente, paso a paso según se iban presentando. Los problemas relacionados con erratas y confusiones se solucionaron haciendo una lectura detallada de códigos y nombres y anotando en una tabla las diferencias en los casos que pudiesen inducir a un error. La asignación de una roca a un grupo litomineralógico se llevó a cabo con detenimiento, realizando una comparación y posterior interpretación de todas las descripciones mineralógicas de una misma roca que aparecían en las diferentes memorias geológicas de hojas limítrofes. En los casos en los que no era posible “unificar” las distintas descripciones de las rocas, se optó por representarlas por separado, asumiendo que en ocasiones, no es posible incrementar la calidad/cantidad de la información si esta está limitada por las fuentes bibliográficas originales. Finalmente, para poder conjugar los nuevos códigos numéricos de las rocas con los antiguos alfanuméricos se implementó una tabla que establecía la equivalencia entre ambos, como se describió en un apartado previo.

Generación de la cartografía geológica continua

De cara a construir una cartografía geológica homogénea y continua en SIG, para trabajar en el proyecto a nivel regional y no con hojas individuales, tal y como está planteada la información del MAGNA, a la propia discontinuidad de la información entre hojas se suman problemas relativos a la propia estructura de su base de datos. Y es que la propia fusión o integración de varias hojas en una única capa de información se ve dificultada porque el nombre de algunos atributos varía de unas hojas a otras, ya que algunas de estas columnas incluyen en su título el nombre de la hoja. Por lo tanto, previo a la fusión de las hojas con las UCG, para mantener una estructura de datos adecuada, fue necesario renombrar las columnas LEY[hoja]_ID y GEO[hoja]_ID, donde [hoja] hace referencia al nº de mapa, por un nombre común LEYMM_ID y GEOMM_ID, operación que se hizo en el gestor de base de datos geográfico PostgisSQL. A continuación, todas las hojas con las UCG se unieron en una única capa de información geográfica y se procedió a generar el código identificativo para su vinculación posterior con las tablas de equivalencia, concatenando los campos de número de hoja, LEYMM_ID e ID, tal y como se había hecho para las tablas de equivalencias. Una vez generado este código y rellenada la información, se procedió a la adhesión de las tablas de equivalencias ya cumplimentadas, mediante la unión a través de las columnas con los códigos identificativos (COD_SIT) (Figura 5).

Finalizada la fase de asignación de códigos geológicos tradicionales, de cara a unir las tablas con la cartografía, se vio que la correspondencia entre los archivos de leyenda *ley[hoja]* y los de las UCG *geo[hoja]*, no era exacta en todas las hojas, si bien el campo

ID era correcto, fue necesaria una revisión minuciosa para corregir numerosos errores, tal y como sucedió anteriormente con los mapas en pdf. Así hubo que modificar manualmente algunos valores puntuales en las tablas de los campos LEYMM, duplicar algunos registros, para hacer referencia, por ejemplo, a diferentes estratos de una misma UCG, y depurar información contenida en las leyendas, pero que por su escasa ocurrencia, no tienen representación geográfica.

Después de varias fases de refinamiento se ha conseguido una cartografía única con las UCG identificadas por su antiguo y nuevo código, grupo litomineralógico y posibles correspondencias con otras hojas. Aún así, la continuidad y representatividad de la información geológica no es plena debido a los problemas ya comentados: por ejemplo geometrías que desaparecen entre mapas consecutivos, o porque se descarta la asignación del mismo código a unidades consecutivas, por falta de coherencia en la información bibliográfica disponible. Este problema, sin embargo, se solventa en parte, a la hora de realizar grandes asociaciones litomineralógicas (ver un ejemplo en la figura 7).

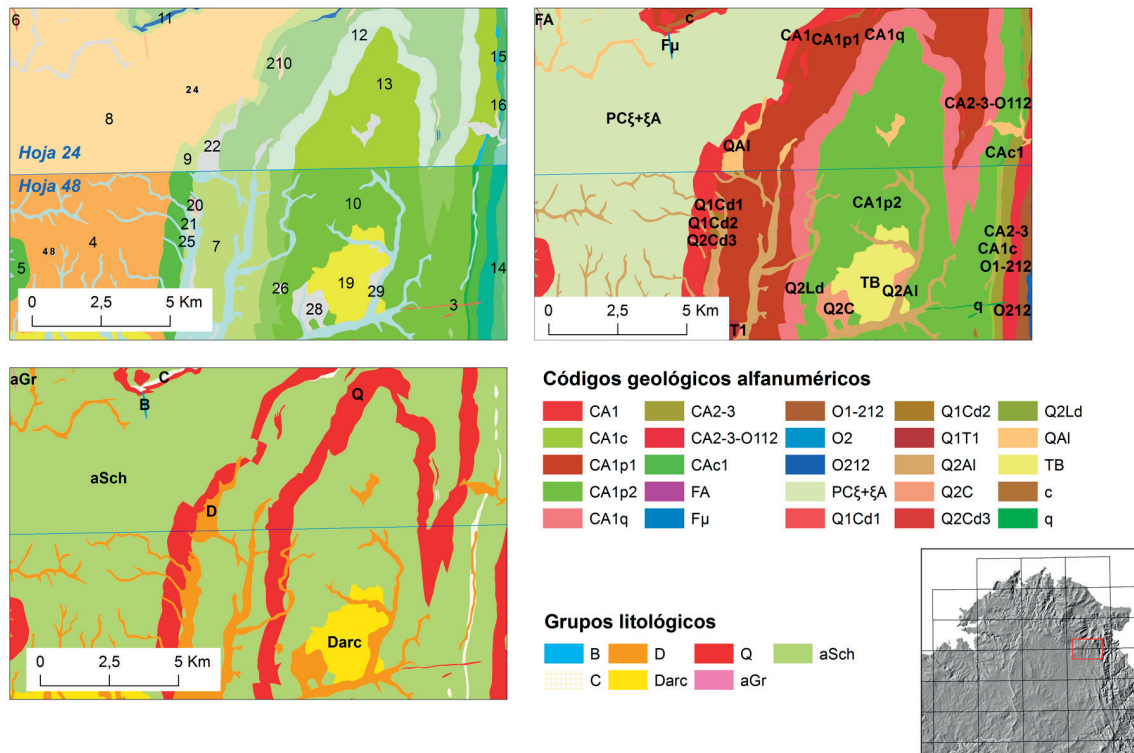


Figura 7. Resultados del proceso de homogeneización de UCG entre las hojas 24 y 48. Superior izquierda, cartografías originales de ambas hojas, simbolizadas según el manual de estilo del MAGNA, con sus UCG identificadas por su código numérico. La falta de continuidad de la información puede apreciarse en la diferencia de color entre unidades de ambas hojas. Superior derecha: Vista de la misma área, simbolizada según los códigos clásicos añadidos, después del proceso de homogeneización. Se puede observar que se ha logrado la continuidad entre la mayoría de geometrías. Vista inferior, mismo área representada según los grupos litológicos asociados a cada tipo de UCG y que dan continuidad completa la información geológica de estas dos hojas.

El resultado del proceso de homogeneización en las hojas se puede comprobar visualmente en las figura 8, antes, con cortes drásticos en los límites de las hojas, y en la figura 9, después de la homogeneización, apreciándose la continuidad de las UCG.

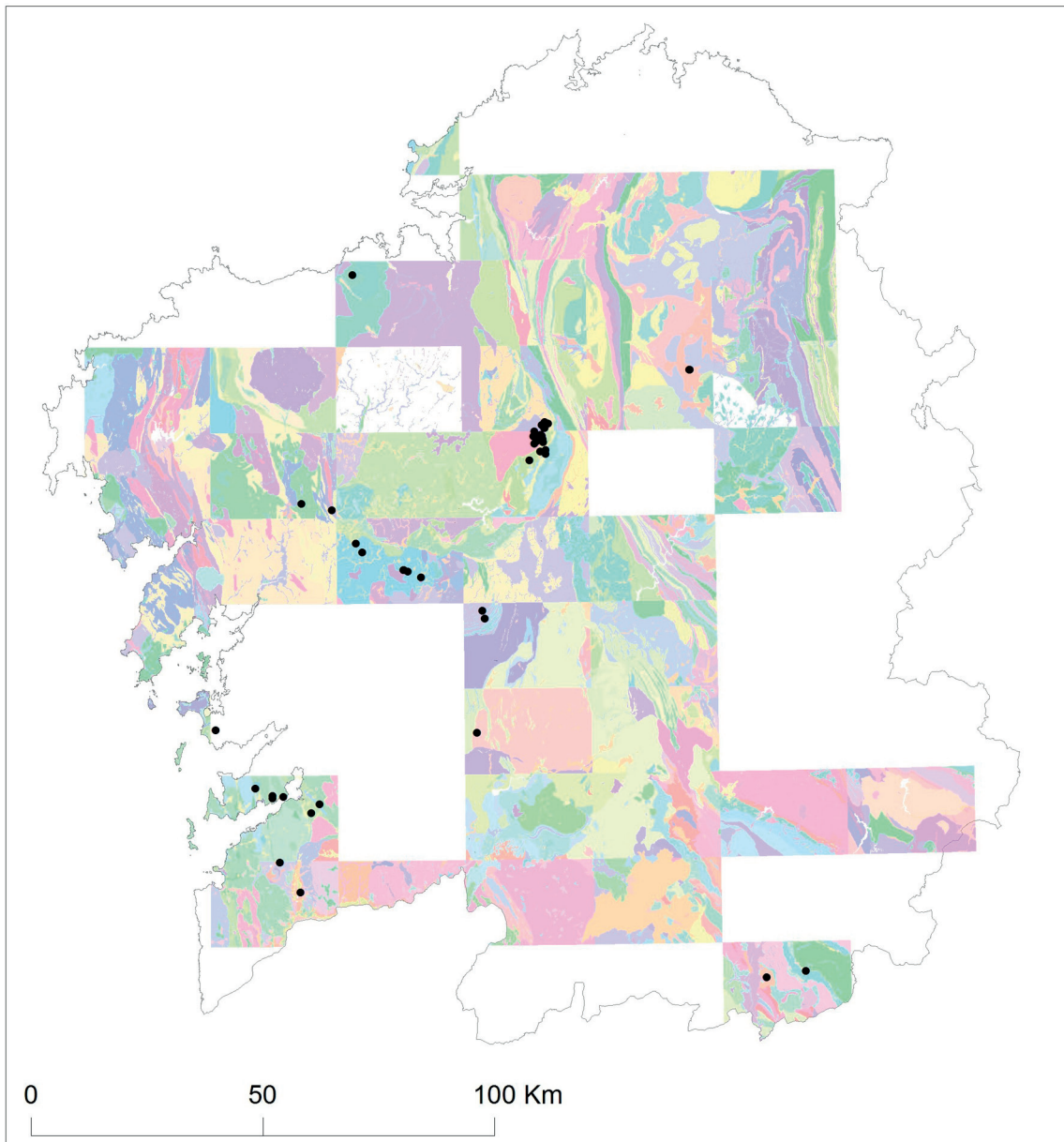


Figura 8. Mapa del MAGNA50 trabajado en este proyecto, con la localización de los yacimientos superpuesta. Se presentan las hojas elaboradas simbolizadas según el código alfanumérico clásico.

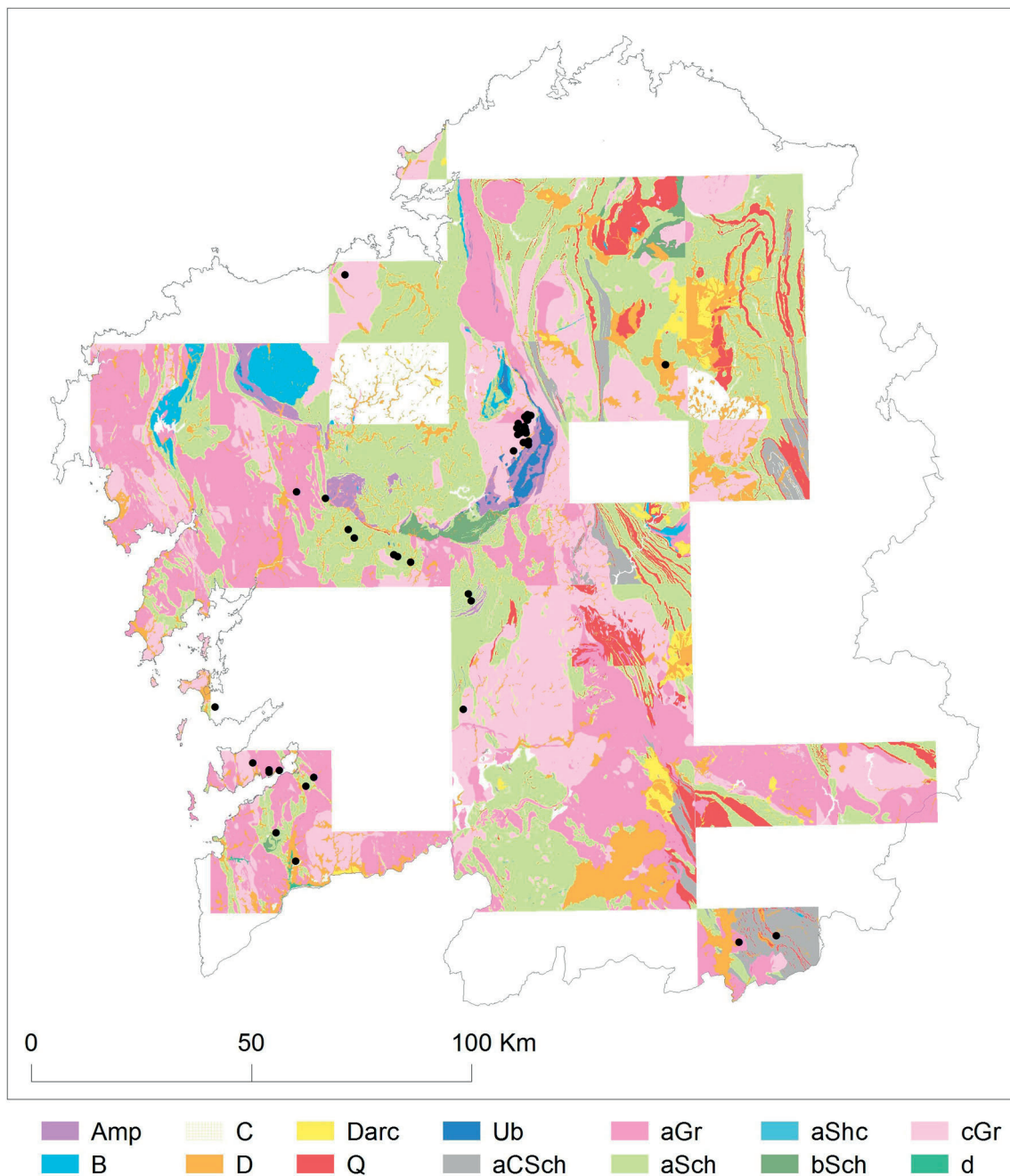


Figura 9. Mapa del MAGNA50 trabajado en este proyecto, con la localización de los yacimientos superpuesta. Se muestran las hojas simbolizadas según el grupo litomineralógico asignado en el resultado final del trabajo.

Un caso de estudio: análisis espacial en base a la información mineralógica

El planteamiento metodológico propuesto empezó por la construcción de una base cartográfica geológica homogénea que permitiese poner en relación la información aparentemente dispar de las diferentes hojas. Esta primera fase de integración y homogeneización de la información es imprescindible para poder desarrollar este cálculo de rutas y cualquier otro análisis espacial. A continuación se incorporaron los datos arqueométricos y se realizó este primer caso de análisis de rutas. En este caso de estudio nos centraremos en la evaluación de distancias yacimiento-recurso a partir de la identificación de posibles fuentes de materias primas a través de la información mineralógica de las cerámicas y su contraste con la mineralogía potencialmente disponible del territorio.

Para la temática arqueométrica de cerámica antigua este tipo de estudios de modelización del movimiento o cálculo de rutas son novedosos en la región, por lo que se hace imprescindible validar todo este trabajo de tratamiento de la información geológica y su integración, junto con los yacimientos, cerámicas y muestras de suelo en el Sistema de Información Geográfica.

Seleccionamos una pieza de un yacimiento, en concreto, la denominada RE40, para ejemplificar un caso de estudio sencillo (figura 10). Se trata de un recipiente decorado del Neolítico Final cuyo análisis de composición mineralógica ha desvelado que sus pastas proceden de la mezcla de dos tipos de materia prima: materiales derivados de la alteración de rocas graníticas alcalinas y de anfibolitas. Dicha cerámica pertenece al yacimiento de Requeán, un asentamiento de tipo doméstico localizado en el ayuntamiento de Toques (A Coruña). Una vez identificadas las fuentes de materia prima, se procedió a determinar las posibles áreas de abastecimiento más próximas al yacimiento, en base a la información geológica tratada e integrada en el SIG.

Rocas básicas anfibólicas se localizan a menos de un kilómetro del yacimiento en línea recta (ámbito local), mientras que las fuentes graníticas más cercana está a 10 km (en línea recta), es decir, en un entorno comarcal (7-50 km).

A continuación se ha modelizado el desplazamiento teórico de las comunidades de la época, entre el yacimiento y sendos lugares de acopio. Para ello se han empleado técnicas de SIG denominadas de “análisis de costes”, que determinan el esfuerzo de moverse por una superficie de fricción. Para el tránsito humano, dichos cálculos suelen basarse en la orografía y factores condicionantes del mismo tales como la pendiente, hidrografía, la vegetación o el clima (MURRIETA-FLORES, 2012; PARCERO-OUBIÑA y FÁBRIGA, 2010; ROMERO LÓPEZ, 2005). El primer resultado de estas técnicas de análisis es una superficie de coste acumulado, que nos indica el tiempo que hemos de invertir para movernos desde el punto de origen (el yacimiento) hasta cualquier parte del territorio. Cuando esta información se proyecta sobre el mapa geológico, se obtiene en una primera aproximación, el esfuerzo de acopio, ya que es posible determinar de forma directa la distancia (en tiempo) a cualquier unidad geológica (recurso potencial). A partir de esta capa de coste acumulado, se han derivado isocronas, es decir, líneas que unen puntos del territorio con el mismo valor de tiempo de desplazamiento. Si bien se trata de un produc-

to derivado y una simplificación de la capa de costes, este tipo de resultado suele ayudar en la interpretación de la información, visualizándola en modo discreto, en forma de intervalos temporales. Finalmente, al disponer de una capa de costes acumulados, es decir, de tiempos de desplazamiento desde los yacimientos, es posible aplicar herramientas de cálculos de rutas, determinando por donde debería producirse el desplazamiento teórico de las personas entre el yacimiento y las fuentes de materias primas identificadas. Estas herramientas de trazado de rutas, hayan el camino más corto entre el origen y destino, uniendo las posiciones intermedias de menor valor de tiempo, para el caso que nos ocupa (figura 10).

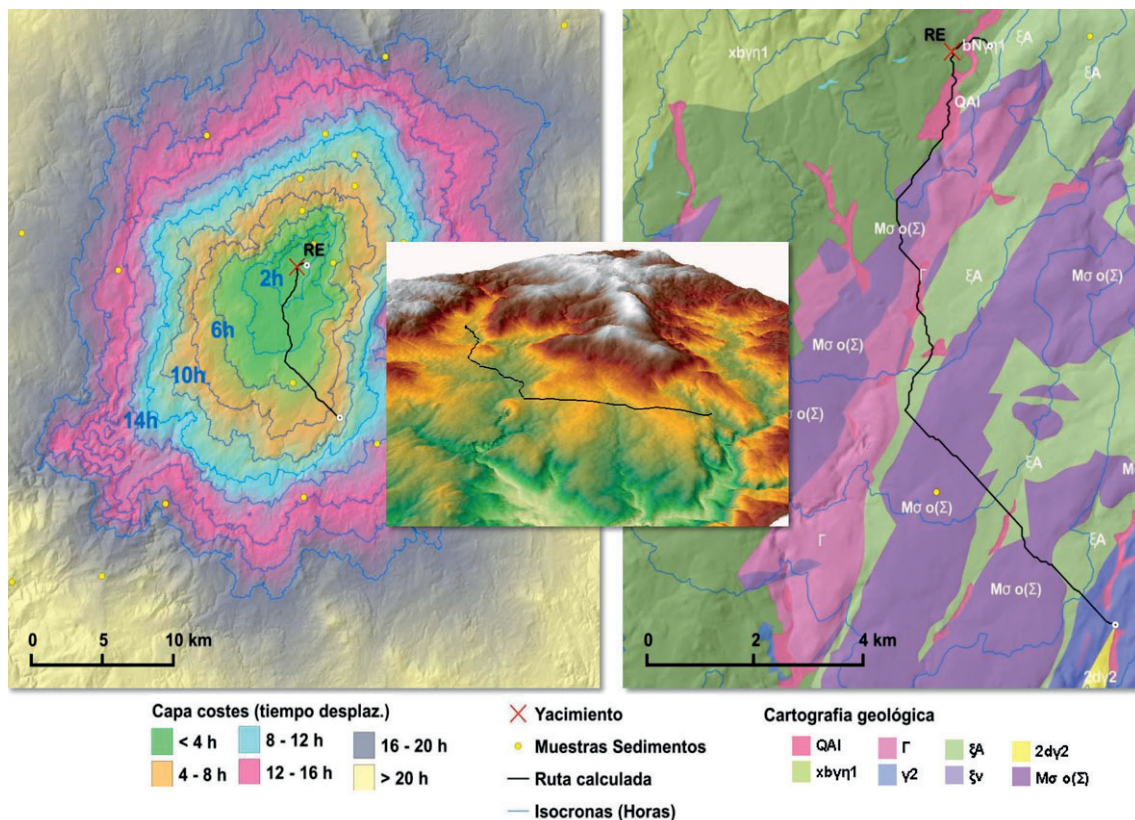


Figura 10. Capa de costes, isocronas y rutas. Ejemplo utilizado combinando los datos analíticos de una pieza cerámica en relación con la oferta litológica del yacimiento en el que fue encontrado (Requeán) en el valle del Furelos (Toques, A Coruña). Izquierda, capa de coste acumulado, que indica el tiempo de desplazamiento desde el yacimiento a cualquier punto del territorio. Sobre ella se superponen las isocronas derivadas de dicha capa, a intervalos de 2 horas, y la ruta teórica de desplazamiento entre el yacimiento y la fuente. Dicha ruta sería la de menor tiempo considerando la orografía de la zona. Derecha, vista de la ruta sobre el mapa geológico, en el que puede verse la localización del yacimiento y el lugar de acopio (granito alcalino 2dγ2 para dicha cerámica). Centro, visualización de la ruta en 3D, sobre el relieve de la zona.

El resultado concreto de este ejemplo nos permite concluir que la pieza RE40 del yacimiento de Requeán fue fabricada probablemente a partir de una mezcla de materias primas derivadas de los materiales de alteración de rocas granítico alcalinas y anfibólicas. Los materiales graníticos más próximos se encuentran en un área localizada al Sur del yacimiento, a una distancia real de 13 km (considerando las variables de coste tales como el relieve e hidrografía), y cuyo recorrido se realizaría en aproximadamente 2,45 horas. Por su parte las rocas alcalinas, mucho más próximas, se localizan apenas a 1 km

al Este del yacimiento, a 15 minutos a pie. En ambos casos se considera una velocidad media de 5km/h, que varía localmente en función de la dirección del movimiento, por ejemplo si éste se realiza cuesta arriba o abajo. En el caso de realizar un cálculo para cada una de las piezas del yacimiento, podríamos valorar el esfuerzo implicado en esa comunidad prehistórica particular para poder adquirir materia prima para fabricar recipientes cerámicos.

Los resultados de este primer caso demuestran que es posible la identificación directa fuentes de materia prima en cualquier ámbito (local, comarcal, etc), en base a la composición mineralógica y además es factible modelizar el movimiento entre los yacimientos y los lugares de acopio, en base a la orografía del territorio, ayudando a resolver cuestiones arqueológicas y contrastar hipótesis sobre los esfuerzos de acopio de materiales.

CONCLUSIONES

Este primer trabajo se propuso como un punto de partida para implementar toda la información arqueológica y arqueométrica de cerámica prehistórica así como la geología del entorno de sus yacimientos en una plataforma GIS.

La generación de una cartografía digital geológica, continua y correctamente identificada, integrada en un Sistema de Información Geográfica (SIG), permite poder realizar estudios más sistemáticos y de mayor alcance, así como establecer agrupamientos de rocas según diversos criterios, como puede ser el mineralógico, ejemplo de caso de estudio concreto de análisis espacial que se presenta en este trabajo.

Una vez integrada la información arqueológica (yacimientos, resultados analíticos de muestras cerámicas y geológicas) y la información cartográfica geológica en un SIG, se pueden automatizar ciertos procesos o extraer mayor provecho de las técnicas de explotación de bases de datos, tales como la generación de consultas espaciales o de atributos. Asimismo mejora la visualización de los datos de cara a la elaboración de salidas gráficas a escala regional o que necesiten de la inclusión de varias hojas del MAGNA. Esto permite ampliar el ámbito de aplicación en función de diferentes objetivos, arqueológicos, arqueométricos.

También, como hemos visto en este trabajo, es de gran utilidad la información implementada que procede de otras disciplinas para poder resolver con más precisión preguntas de carácter histórico, pero no menos importante es que la propia arqueometría pueda llegar a ser el motor del desarrollo de investigaciones en otros campos del conocimiento contribuyendo a generar nuevos datos e información, que aun procediendo de otras disciplinas, no se generan por ellas mismas sino a través de ellas.

POTENCIALIDAD DEL TRABAJO Y POSIBILIDADES EN ARQUEOMETRÍA CERÁMICA

Los resultados que hemos mostrado en el apartado anterior de manera sencilla nos muestran el gran beneficio y utilidad a la arqueometría del uso combinado de saber geológico y

GIS. El trabajo futuro a desenvolver pasa no sólo por desarrollar los diferentes niveles de análisis en un nivel espacial, en base a la combinación de todos los nuevos datos disponibles, sino también ampliar la base empírica arqueológica, arqueométrica y geológica.

Es importante continuar incluyendo toda la cartografía geológica del Noroeste Peninsular siguiendo el mismo sistema de implementación y correcciones y a partir de ahí expandir el análisis espacial de cálculo de distancias de abastecimiento al conjunto del territorio intentando implementar nuevas variables espaciales como barreras naturales al paso tales como la hidrografía, precipicios o acantilados, o incluso vegetación y clima.

Se debe incorporar complementariamente la información analítica disponible para establecer comparaciones con la ya implementada. Podemos destacar en primer lugar los datos geoquímicos como tarea básica, pero la incorporación de los datos isotópicos a la cartografía podría ser una base de partida importante para poder plantear la elaboración de un mapa isotópico en la región. Ya poseemos una base empírica de partida importante, aunque es necesaria su ampliación, como decíamos, 600 muestras cerámicas y 103 muestras geológicas, ambos tipos de muestras son necesarias para poder realizar el trabajo.

Pero sin duda en un nivel arqueológico, la aplicación de la metodología tratada en este trabajo abre posibilidades antes impensables de conocer una información importante sobre diferentes grados de movilidad de las comunidades prehistóricas y antiguas en relación con un tipo de actividad concreto que es la alfarería. Añade un conocimiento que, de otra manera, no sería viable plantear por el esfuerzo que implicaría realizar cálculos a ciertos niveles. Y lo más importante, este conocimiento es sistemático y permite realizar comparaciones entre yacimientos, diferentes áreas culturales y cronologías diversas, pudiendo contribuir en este ámbito de conocimiento a reconstruir el pasado de las comunidades estudiadas.

RECONOCIMIENTOS

Los mapas digitales adquiridos en el I.G.M.E fueron financiados por el proyecto HAR2010-17637 titulado 'Los estilos cerámicos en la Prehistoria de Galicia: tecnología, materias primas y circulación' (2010-2012) del Ministerio de Ciencia e Innovación, Plan Nacional de I+D+I 2008-2011, Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental 2010-2012.

El desarrollo de este trabajo se ha sido financiado por el proyecto EM2012/054, 2012-PG217 titulado 'Isótopos de Pb y Sr en cerámicas arqueológicas de Galicia: estudio de la procedencia y el acceso a las materias primas' (2012-2016); convocatoria de Ayudas a Proyectos de Investigación a Investigadores Emergentes del Plan Gallego de I+D+I. Las figuras de este trabajo han sido elaboradas en el SIT (USC).

Finalmente, agradecemos a Beatriz Prieto Lamas, profesora de Edafología de la Universidad de Santiago de Compostela, por proporcionar las muestras geológicas para analizar (horizontes C) de las cuales es depositaria, y a Mikel Díaz Rodríguez, alumno del Máster de Arqueología y Ciencias de la Antigüedad 2013-4 por su ayuda en la fase de tratamiento de la información arqueológica en el SIT.

Asimismo agradecemos los comentarios y sugerencias de los evaluadores anónimos, pues contribuyeron a la mejora del texto final. Todos los errores son responsabilidad nuestra.

BIBLIOGRAFÍA

- ARNOLD, D. E. 2005. "Linking society with the compositional analysis of pottery: a model from comparative ethnography". En A. Livingstone Smith, D. Bosquet y R. Martineau (ed) *Pottery Manufacturing Processes: Reconstruction and Interpretation.*, pp. 15–21. British Archaeological Reports, International Series, 1349, Oxford.
- ARNOLD, D. E. 1985. *Ceramic theory and cultural process*. Cambridge University Press. Cerámica.
- ARNOLD, D. E. 2006. "The Threshold Model for ceramic resources: A Refinement". *British Archaeological Reports. International Series, 1553*, pp. 3-9.
- BOE. 2007. "Real Decreto 1071/2007, de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España". *Boletín Oficial del Estado*, 29 de agosto de 2007, pp. 35986- 35989.
- BURROUGH, P.A. y MCDONNELL, R.A., 1998. *Principles of Geographical Information Systems. Spatial Information Systems*. New York, Oxford University Press.
- CONVERTINI, F. y QUERRE, G. 1998." Apports des études céramologiques en laboratoire à la connaissance du Campaniforme: résultats, bilan et perspectives ". *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 95 (3), pp. 333-41.
- DELIBES DE CASTRO, G.; MONTERO RUÍZ, I. (coords.) 1999. *Las primeras etapas metalúrgicas en la Península Ibérica. (2 vols.)*. Madrid, Instituto Universitario Ortega y Gasset.
- DEL BOSQUE GONZÁLEZ, I., FERNÁNDEZ FREIRE, C., MARTÍN-FORERO MORENTE, L. y PÉREZ ASENSIO, E., 2012. *Los Sistemas de Información Geográfica y la Investigación en Ciencias Humanas y Sociales*. (<http://digital.csic.es/handle/10261/64940>) (Consultado el 15 de diciembre de 2014).
- DOMÍNGUEZ-BELLA, S.; CASSEN, S.; PÉTREQUIN, P.; PRICHYSTAL, A.; MARTÍNEZ, J.; RAMOS, J. y MEDINA, N. 2015. "Aroche (Huelva, Andalucía): a new Neolithic axehead of Alpine jade in the southwest of the Iberian Peninsula". *Archaeological and Anthropological Sciences (feb)* (DOI 10.1007/s12520-015-0232-9).
- GONZÁLEZ ÍNSUA, F. 2013. "Aproximación a la distribución espacial de sitios arqueológicos de la Prehistoria Reciente en la Ría de Arousa (Pontevedra)", *Gallaecia*, 32, pp. 129-167.
- GOSELAIN, O.P. y LIVINGSTONE SMITH, A., 2005, "The source. Clay selection and processing practices in sub-Saharan Africa". En A. Livingstone Smith, D. Bosquet, and R. Martineau (eds.), *Pottery manufacturing processes: reconstruction and interpretation*. BAR International Series, Oxford, pp. 33-48.
- INSPIRE DRAFTING TEAM "DATA SPECIFICATIONS. 2014. *Guidelines for the encoding of spatial data, Version 3.3*. (<http://inspire.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/2>) (Consultado el 16 de diciembre de 2014).
- LALOUX, M. 2014. *GeoTux. El modelado geológico para un geólogo sin recursos o entusiasta: GRASS GIS (y Paraview)* (<http://geotux.tuxfamily.org/index.php/es/component/k2/item/322-el-modelado-geologico-para-un-geologo-sin-recursos-o-entusiasta-grass-gis-y-paraview>) (Consultado el 18 de diciembre de 2014).
- LOCK, G.R. 2000. *Beyond the Map: Archaeology and Spatial Technologies*. Amsterdam, IOS Press.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, A., LANTES SUÁREZ, O. y PRIETO MARTÍNEZ, M. P. 2011. "Capítulo 33. Cerámica campaniforme del NW de la Península Ibérica. Indagando en sus materias primas, elecciones tecnológicas y procedencia". En M. P. Prieto Martínez y L. Salanova (eds.), *Las Comunidades Campaniformes en Galicia. Cambios sociales en el III y II milenios BC en el NW de la Península Ibérica*. Pontevedra, Diputación de Pontevedra, pp. 309-331.

- MORENO GALLO, I. 2012. *Vías Romanas de Castilla y León* (<http://www.viasromanas.net/>) (Consultado el 18 de diciembre de 2014).
- MURRIETA-FLORES, P., 2012. "Understanding human movement through spatial technologies. The role of natural areas of transit in the Late Prehistory of South-western Iberia". *Trabajos de Prehistoria*, 69, pp. 103–122 (doi:10.3989/tp.2012.12082).
- NAVAZO, M.; COLINA, A.; DOMÍNGUEZ, S. y BENITO, A. 2008. "Caracterización y gestión de materias primas en los asentamientos pleistocénos al aire libre de la Sierra de Atapuerca (Burgos)". En Rovira Llorens, S.; García Heras, M.; Gener Moret, M. and Montero Ruiz, I. (eds.). *Actas del VII Congreso Ibérico de Arqueometría*, Madrid, pp. 250-64.
- ODRIOZOLA, C. P.; LINARES-CATELA, J. A. y HURTADO-PÉREZ, V. 2010. "Variscite source and source analysis: testing assumptions at Pico Centeno (Encinasola, Spain)". *Journal of Archaeological Science*, 37, pp. 3146-3157.
- OLAYA, V., 2012. *Sistemas de Información Geográfica I y II*. Madrid, Ed. Bubok.
- PARCERO OUBIÑA, C. y FÁBREGA ÁLVAREZ, P. 2006. "Diseño metodológico para el análisis locacional de asentamientos a través de un SIG de base raster". En I. Grau Mira (Coord.): *La aplicación de los SIG en la Arqueología del Paisaje*, Alicante, pp. 69-90.
- PARCERO OUBIÑA, C., FÁBREGA ÁLVAREZ, P., GÜMIL FARIÑA, A., FONTE, J. y VALDEZ TULLET, J. 2013. "Castros, caminos, rutas y ocupación del espacio. Modelización y análisis de las formas de movilidad asociadas a los asentamientos de la Edad del Hierro a través de herramientas SIG". En F. Criado Boado, A. Martínez Cortizas y M.V. García Quintela (Eds.): *Petroglifos, paleoambiente y paisaje. Estudios interdisciplinarios del arte rupestre en Campo Lameiro (Pontevedra)*, Santiago de Compostela, TAPA 42, pp. 171-186.
- PARCERO-OUBIÑA, C. y FÁBREGA, P., 2010. "Una arqueología del movimiento: modelización de la evolución histórica del tránsito entre el Deza y Santiago". En M. P. Prieto-Martínez, M.P. F. Criado-Boado, Felipe (Eds.), *Reconstruyendo la historia de la comarca del Ulla-Deza (Galicia, España). Escenarios arqueológicos del pasado*, Trabajos de Arqueología e Patrimonio. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Santiago de Compostela, TAPA 41, pp. 145–157.
- PÉREZ CERDÁN, F.; OROZCO CUENCA, M.T. y GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, M.I. 2012. *Modelo de datos de la Cartografía Geológica MAGNA en formato digital*. Informe Técnico. Madrid, I.G.M.E.
- POLVORINOS, A.; HERNÁNDEZ, M. J.; ALMARZA, J.; FORTEZA, M.; CASTAING, J. y HURTADO, V. 2008. Estudio Arqueométrico de las láminas de sílex procedentes de la Tumba III del yacimiento de La Pijotilla (Badajoz). En Rovira Llorens, S.; García Heras, M.; Gener Moret, M. and Montero Ruiz, I. (eds.). *Actas del VII Congreso Ibérico de Arqueometría*, Madrid, pp. 250-64.
- PRICE, T.D., GRUPE, G. y SCHRÖTER P. 1998. "Migration in the Bell Beaker period of central Europe". *Antiquity*, 72, pp. 405-411.
- PRIETO MARTÍNEZ, M. P., LANTES SUÁREZ, O. y MARTÍNEZ CORTIZAS, A. 2009a. "Dos enteramientos de la Edad del Bronce en la provincia de Ourense". En J. Fonte (coord.): *Actas do Congresso Transfronteiriço de Arqueologia: um Património sem Fronteiras. Revista Aquae Flaviae*, 41, pp. 93-105.
- PRIETO MARTÍNEZ, M. P., MARTÍNEZ CORTIZAS, A., LANTES SUÁREZ, O. y GIL AGRA, D. 2009b. "Estudio de la cerámica del yacimiento de fosas de Fraga do Zorro". En J. Fonte (coord.): *Actas do Congresso Transfronteiriço de Arqueologia: um Património sem Fronteiras. Revista Aquae Flaviae*, 41, pp. 107-121.
- PROYECTO MURALLA DIGITAL 2007-13. *Ruta 'Vilas Amuralladas'* (<http://www.vilasamuralladas.eu/es/>) (Consultado el 18 de diciembre de 2014).
- QGIS DEVELOPMENT TEAM 2014. *QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project*. (<http://qgis.osgeo.org>) (Consultado el 15 de diciembre de 2014).
- ROMERO LÓPEZ, R.L. 2005. "Cálculo de rutas óptimas mediante SIG en el territorio de la ciudad celtibérica de Segeda: propuesta metodológica". *Saldvie: Estudios de prehistoria y arqueología*, 5, pp. 95-111.

- SALANOVA, L., PRIETO-MARTÍNEZ, M. P., CLOP GARCÍA, X., CONVERTINI F., LANTES-SUÁREZ O. y MARTÍNEZ-CORTIZAS, A. (2015, ep). "What are large-scale archaeometric programmes for? Bell Beaker pottery and societies from the 3rd millenium BC in Western Europe". *Archaeometry*. doi: 10.1111/arcm.12173.
- SEGEMAR 2012. *Sistema de Información Geográfica del Servicio Geológico Minero Argentino. Versión Beta* (<http://sig.segemar.gov.ar/>). (Consultado el 18 de diciembre de 2014).
- SCHEIDEL, W. y MEEKS, E. 2012. *The Stanford Geospatial Network Model of the Roman World* (<http://orbis.stanford.edu>) (Consultado el 18 de diciembre de 2014).
- SISTEMA DE INFORMACIÓN PATRIMONIAL (SIP) de Santiago de Compostela (<http://sip.consorciodesantiago.org/SIPWeb/>) (Consultado el 18 de diciembre de 2014).
- VÁZQUEZ MATO, M.X. 2010. "Estrategias de asentamiento como indicadores de cronología relativa para la Edad de Hierro en el Noroeste Ibérico". *Herakleion*, 3, pp. 67-103.
- VOOBURG, R. 2011. *Omnis Viae: Roman Routeplanner* (<http://www.omnesviae.org/>) (Consultado el 18 de diciembre de 2014).
- WEINER, S. 2010. *Microarchaeology. Beyond the visible archaeological record*. Cambridge University Press, UK.
- WESSEX ARCHAEOLOGY (<http://www.ucl.ac.uk/archaeology/research/directory/beaker-people-parkerpearson>; http://www.wessexarch.co.uk/projects/amesbury/tests/oxygen_isotope.html) (Consultado el 18 de diciembre de 2014).
- XEOPORTAL IDEPATRI GIS CESGA (<http://idepatri.cesga.es/idepatri.php>) (Consultado el 18 de diciembre de 2014).

Mapas geológicos (apéndice bibliográfico)

- 006_Monteserín López, V.; Fernández Martínez, F.; Peinado Moreno, M.; López García, M. J.; Martínez García, E. y Huerga Rodríguez, A. 1976. Mapa Geológico 1.50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 6 (5-3, San Salvador de Serantes). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 021_Monteserín López, V.; Fernández Pompa, F.; López García, M. J.; Peinado Moreno, M.; Matte, P. y Capdevila, R. 1975. Mapa Geológico 1.50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 21 (5-4, A Coruña). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 022_Fernández Pompa, D. F.; Peinado Moreno, M.; Menéndez Amor, J. ; Gómez Nogueroles y Capdevila, R. 1975. Mapa Geológico 1.50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 22 (6-4, Puentedeume). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 023_Arce Duarte, J. M.; Fernández Tomás, J.; Alvarez Menendez, J.; López García, M. J. y Capdevila, R. 1975. Mapa Geológico 1.50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 23 (7-4, Puentes de García Rodríguez). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 024_Arce Duarte, J. M.; Fernández Tomás, J.; Monteserín López, V.; López García, M. J.; Walter, R.; Martínez García, D. y Huerga Rodríguez, A. 1978. Mapa Geológico 1.50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 24 (8-4, Mondoñedo). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 044_Alonso Alonso, J. L.; González González, J. C.; López García, M. J. y Huerga Rodríguez, A. 1982. Mapa Geológico 1.50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 22-44 (4-5, Sisargas-Carballo). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 045_Galán Arias, J.; Aldaya Valverde, F.; Ruiz Arias, F.; Suárez, O.; Iglesias Ponce de León, M.; Arps, C. E.S.; Hilgen, J. D. y Huerga Rodríguez, A. 1981. Mapa Geológico 1.50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 45 (5-5, Betanzos). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 046_Naval Balbín, A.; Iglesias Ponce de León, M.; Ruiz Arias, F.; Suárez, O.; Arps, C. E. S.; Hilgen, J. D. y Huerga Rodríguez, A. 1981. Mapa Geológico 1.50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 46 (6-5, Guitiriz). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 047_García Salinas, F.; Abril Hurtado, J.; Tena-Dávila Ruiz, M. y Capdevila, M. R. 1975. Mapa Geológico 1.50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 47 (7-5, Villalba). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.

- 048_ González Lodeiro, F.; Martínez Catalá, J. R.; Pablo Maciá, J. G.; Pérez González, A.; Ruiz García, M. T.; Fonollá Ocete, F.; Gil Cid, M. D.; Vallauré, A. M.; Perejón Rincón, A.; Truyols, J. M.; Calvo Pérez, B.; Pérez-Estaún, A. y Huerga Rodríguez, A. 1979. Mapa Geológico 1.50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 48 (8-5, Meira). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 068_ Hernández Urroz, J.; Iglesias P. de León, M.; Casquet Martín, C.; Navidad Fernández de la Cruz, M.; Arsp, C. E. S.; y Huerga Rodríguez, A. 1981. Mapa Geológico 1.50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 68 (3-6, Camariñas). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 069_ Alonso Alonso, J. L.; González González, J. C.; Peinado, Moreno, M.; Pérez Rojas, A. y López García, M. J. 1981. Mapa Geológico 1.50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 69 (4-6, Santa Comba). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 070_ Hernández Urroz, J.; Dívar Rodríguez, J.; Díez Balda, M. A.; Martínez Catalán, J. R.; Bellido Mulas, F.; Barrera Morate, J. L.; Casquet Martín, C.; Hilgen, J. D.; Hernández Urroz, J.; Ruiz García, Casilda; Huerga Rodríguez, A. 1981. Mapa Geológico 1.50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 70 (5-6, Órdenes). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 071_ Pablo Maciá, J. G. de; Martínez Catalán, J. R.; Hilgen, J. D.; Iglesias Ponce de León, M.; Ruiz, M. T.; Calvo Pérez, B. y Huerga, A. 1981. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 71 (6-6, Sobrado dos Monxes). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 072_ García Salinas, F.; Abril Hurtado, J.; Tena-Dávila Ruíz, M. de. y Capdevilla, M. R. 1975. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 72 (7-6, Lugo). Segunda serie. Primera edición. Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 073_ Dívar Rodríguez, J.; Hernández Urroz, J.; Vallauré, A. M.; Pérez-Estaún, A.; Martínez, F.; Ruiz García, M. T.; Truyols, J. M. y Huerga Rodríguez, A. 1978. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 73 (8-6, Castroverde). Segunda serie. Primera edición. Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 093_ Dívar Rodríguez, J.; Pablo Maciá, J. G.; Iglesias Ponce de León, M.; Arps, C. E. S.; Barrera, J. L.; Bellido, F.; Casquet, C.; Navidad, M.; Calvo Pérez, B. y Huerga Rodríguez, A. 1981. Mapa Geológico 1: 50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 93 (3-7, Outes). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 094_ Pablo Maciá, J. G. de; Martínez Catalán, J. R.; Barrera, J. L.; Bellido, F., Calvo Pérez, B. y Huerga Rodríguez, A. 1981. Mapa Geológico 1: 50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 94 (4-7, Santiago de Compostela). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 095_ García Salinas, F.; Abril Hurtado, J.; Huerga Rodríguez, A.; Apalategui Isasa, O.; Pliego Dones, D. y Martínez García, E. 1978. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 95 (5-7, El Pino). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 096_ García Salinas, F.; Abril Hurtado, J.; Huerga Rodríguez, A.; Apalategui Isasa, O.; Pliego Dones, D.; Martínez García, E. y Iglesias P. de León, M. 1978. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 96 (6-7, Arzúa). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 097_ García Salinas, F.; Abril Hurtado, J.; Pliego Dones, D. V.; Corretge Castañón, L. G.; Capdevila, R.; Matte, P.; Apalategui Isasa, O.; González Lodeiro, F. y Huerga Rodríguez, A. 1976. Mapa Geológico 1.50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 97 (7-7, Guntín). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 098_ Apalategui Isasa, O.; Corretge Castañón, G.; Martínez García, E.; Capdevila, R.; Matte, P.; Abril Hurtado, J. González Lodeiro, F.; Pliego Dones, D.; García Salinas, F. y Huerga Rodríguez, A. 1976. Mapa Geológico 1.50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 98 (8-7, Baralla). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 119_ Dívar Rodríguez, J.; Iglesias Ponce de León, M.; Arps, C. E. S.; Hilgen, J. D.; Fernández Saavedra, J.; Casquet Martín, C.; Navidad Fernández de la Cruz, M. y Huerga Rodríguez, A. 1981. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 119 (3-8, Noya). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.).
- 120_ Galán Arias, J.; Fernández Rodríguez-Arango, R.; Aldaya Valverde, F.; Ruiz Arias, F.; González Lodeiro, F.; Galán Arias, J.; Peón Peláez, A.; Arps, C. E.S.; Hilgen, J. D. 1981. Mapa Geológico

- 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 120 (4-8, Padrón). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.).
- 121_Klein, E.; Aldaya Valverde, F.; Arps, D. E.S., González Lodeiro, F.; Hilgen, J. D.; de Pablo Maciá, J.G. y Huerga Rodríguez, A. 1982. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 121 (5-8, La Estrada). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 122_Divar Rodríguez, J.; Iglesias Ponce de León, M.; Hilgen, J.D.; Hernandez Urroz, J.; Casquet Martín, C.; Navidad Fernández de la Cruz, M. y Huerga Rodríguez, A. 1982. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 122 (6-8, Golada). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 123_Martínez Catalán, J. R.; Fernández Rodríguez-Arango, R.; Naval Balbín, A.; González Lodeiro, F.; Suárez Méndez, O.; Aldaya Valverde, F. y Huerga Rodríguez, A. 1982. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 123 (7-8, Puertomarín). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 151_Galán Arias, J.; Fernández Rodríguez-Arango, R.; Aldaya Valverde, F.; Ruiz Arias, F.; González Lodeiro, F.; Peón Peláez, A.; Hilgen, J. D., Arps, E. S. y Huerga Rodríguez, A. 1981. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 151 (8-9, Puebla del Caramiñal). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 152_Hernández Urroz, J.; González, Lodeiro, F.; Fernández Saavedra, J. J.; Casquet Martín, C.; Navidad Fernández de la Cruz, M.; Hilgen, J. D. y Huerga Rodríguez, A. 1982. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 152 (4-9, Vilagarcía de Arousa). Segunda serie, Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 153_Klein, E.; Hilgen, J. D.; Arps, D.E.S., Calvo Pérez, B. y Huerga Rodríguez, A. 1982. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 153 (5-9, Cercedo). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 154_González Lodeiro, F.; Iglesias Ponce de León, M. y Martínez Catalá, J. R. 1974. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 154 (6-9, Lalín). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 155_González Lodeiro, F.; Martínez Catalán, J. R.; Iglesias Ponce de León, M.; Arribas, M.Oreno, A.; Aldaya Valverde, F.; Martínez García, E.; Capdevila, R. y Hilgen, J. D. 1974. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 155 (7-9, Chantada). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 156_Iglesias Ponce de León, M.; González Lodeiro, F. y Rodríguez Fernández, L. R. 1981. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 156 (8-9, Monforte de Lemos). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 184_Abril Hurtado, J.; Corretge Castañón, L.; Floor, P.; Zapardiel Palenzuela, J. María; García Salinas, F. 1981. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 184 (3-10, O Grove). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 185_Abril Gómez, H.; Abril Hurtado, J.; Pliego Dones, D. V.; Corretge Castañón, L. G.; Floor, P.; Zapardiel Palenzuela, J. M. y García Salinas, F. 1981. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 185 (4-10, Pontevedra). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 186_Monteserín López, V. y Pérez Rojas, A. 1981. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 186 (5-10, Puente Caldelas). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 187_González Lodeiro F., Iglesias Ponce de León M., Martínez Catalán, J. R. 1974. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 187 (6-10, Ourense). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 222_Abril Hurtado, J.; Corretge Castañón, L. G.; Floor, P.; Zapardiel Palenzuela, J. M. y García Salinas, F. 1981. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 222 (3-11 (Cies). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 223_García Salinas, F.; Abril Hurtado, J.; Rubio Navas, J.; Corretge Castañón, L. G.; Zapardiel Palenzuela, J. M. y Floor, P. 1981. b. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 223 (4-11 (Vigo). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.

- 225_Chamón, C.; Fernández Pompa, F.; Ferragne, A.; Boquera Fillol, J. y Pérez Rojas, A. 1974. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 225 (6-11, Ribadavia). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 226_Arce, J.; Boquera, J.; Chamón, C.; Estévez, C.; Pompa, F.; Piles, E.; Sánchez Cela, V.; López García, M. J. y Ferragne, A. 1974. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 226 (7-11, Allariz). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 227_Rubio Navas, J.; Rodríguez Fernández, L. Roberto; Iglesias Ponce de León, M.; Abril Hurtado, J.; Hernández Rodríguez, E. y Puyol Castillo, R. 1981. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 227 (8-11, Manzaneda). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 228_Iglesias Ponce de León, M.; Varea Nieto, R. y Rodríguez Fernández, L. R. 1982. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 228 (9-11, Viana del Bollo). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 261_García Salinas, F.; Abril Hurtado, J.; Pliego Dones, D. V.; Rubio Navas, J.; Solar Menéndez, J. B.; Coretge Castañón, L. G. y Floor, P. 1981. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 261 (4-12, Tuy). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 262_Rubio Navas, J.; Abril Hurtado, J.; Corretge Castañón, G.; Solar Menéndez, B. y García Salinas, F. 1981. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 262 (5-12, Salvatierra de Miño). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 263_Fernández Tomás, J.; Piles Mateos, E.; Ferragne, A.; Pérez rojas, A.; Estévez González, C. y Boquera Fillol, J. 1974. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 263 (6-12, Celanova). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 264_Chamón Cobos, C.; Fernández Tomás, J.; Ferragne, A.; Estévez González, C.; Fresno López, F.; López García, M. J.; Sánchez Cela, V. y Menéndez Amor, J. 1974. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 264 (7-12, Ginzó de Limia). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 265_Alonso Alonso, J. L.; Delgado Gutierrez, G.; Zubieta Freire, J. M.; Pérez rojas, A.; Ferragne, A. y Ruiz García, C. 1981. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 265 (8-12, Laza). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 266_Arce Duarte, J. M.; López-Prado Teixeira, J.; del Moral Crespo, J.; Pérez Rojas, A. y Ferragne, A. 1981. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 266 (9-12, La Gudiña). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 299_Abril Hurtado, J.; Corretgé Castañón, L. G.; Floor, P. y Solar Menéndez, J. B. 1981. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 299 (4-13, Tomiño). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 302_Fernández Pompa, F.; Boquera Fillol, J.; Ferragne, A.; Sánchez Cela, V. y Muñoz, M. 1974. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 302 (7-13, Baltar). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 303_Nuño Ortea, C., López García, M. J.; Ferragne, A. y Ruíz García, C. 1981. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 303 (8-13, Verín). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.
- 304_Fernández Tomás, J.; López García, M. J.; Fonolla Ocete, J. F. y Martínez García, E. 1981. Mapa Geológico 1:50.000 y Memoria explicativa de la hoja nº 304 (9-13, Hermisende). Segunda serie. Primera edición. Publicaciones del I.G.M.E.