

INFRAESTRUCTURAS DE DATOS ESPACIALES Y DATOS DE EXCAVACIÓN ARQUEOLÓGICA: *SILEX*, LA IDE DE LA MINA NEOLÍTICA DE SÍLEX DE *CASA MONTERO* (MADRID)

Spatial data infrastructures and archaeological excavation data: *silex*, the SDI of the neolithic flint mine of *Casa Montero* (Madrid, Spain)

ALFONSO FRAGUAS*, ANTONIO MENCHERO**, ANTONIO URIARTE*, JUAN VICENT*, SUSANA CONSUEGRA*, PEDRO DÍAZ-DEL-RÍO*, NURIA CASTAÑEDA*, CRISTINA CRIADO*, ENRIQUE CAPDEVILA* y MARTA CAPOTE*

RESUMEN SILEX es una Infraestructura de Datos Espaciales desarrollada para la gestión y distribución de la información arqueológica primaria de la mina de sílex neolítica de Casa Montero, situada en la periferia de la ciudad de Madrid. Ha sido diseñada según un enfoque abierto, basado en el uso de estándares y software de código abierto y en el acceso libre al conjunto integral de los datos relativos a yacimiento vía Internet. Es un sistema de información distribuido con una arquitectura en tres capas: la capa de datos, formada por información SIG y una compleja base de datos temática organizada según el modelo entidad-relación; la capa del servicio web, que incorpora el uso de protocolos y lenguajes estándar para el acceso a la base de datos; y la capa de interfaz, un *mashup* que combina formularios y un visor geográfico para la consulta y recuperación de la información.

Palabras clave: Minería de Sílex Neolítica, Infraestructuras de Datos Espaciales, *Open Data*, Código Abierto, Modelo Entidad-Relación Extendido, XML, Servicios OGC, INSPIRE.

ABSTRACT SILEX is a Spatial Data Infrastructure developed for the management and distribution of the primary archaeological information about the Neolithic flint mine of Casa Montero, located in the periphery of the city of Madrid (Spain). It is designed according an open approach, based on the use of standards and open source software and on the free access to the whole data about the site via Internet. It is a distributed information system with a

* Grupo de Investigación “Prehistoria Social y Económica”, Instituto de Historia, CCHS - CSIC, *alfonso.fraguas, antonio.uriarte, juan.vicent, susana.consuegra, pedro.diazdelrio, nuria.castanyeda, cristina.criado, enrique.capdevila, marta.capote@cchs.csic.es*

** *antonio.menchero@gmail.com*

Fecha de recepción: 15-10-10. Fecha de aceptación: 20-01-11

three layer architecture: the data layer, formed by GIS info and a complex entity-relationship thematic database; the web service layer, with the use of standard protocols and languages for accessing the database; and the interface layer, a mashup that combines forms and a geographic viewer for querying and retrieving data.

Key words: Neolithic Flint Mining, Spatial Data Infrastructures, Open Data, Open Source, Extended Entity-Relationship Model, XML, OGC Services, INSPIRE.

1. LA MINA NEOLÍTICA DE CASA MONTERO Y *SILEX*

*SILEX (Sistema de Información Locacional en XML)*¹ es un sistema de información, bajo la forma de una Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), diseñado para la gestión sistemática y distribución de datos recuperados durante la excavación de un sitio arqueológico en particular, la mina de sílex del Neolítico Antiguo de Casa Montero (Madrid) (Consuegra *et al.*, 2004; Díaz-del-Río *et al.*, 2006, 2008, 2010; Capote *et al.*, 2008; Bustillo *et al.*, 2009). *SILEX* ha sido desarrollado por el Grupo de Investigación *Prehistoria Social y Económica* (Instituto de Historia, CCHS – CSIC), una de cuyas líneas de trabajo es la aplicación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en Arqueología². Otra parte del mencionado Grupo desarrolla el Proyecto de Investigación del yacimiento Casa Montero. Dicho proyecto ha realizado un especial esfuerzo en imbricar investigación básica e innovación tecnológica, que se concreta en el primer sistema de información integral de un yacimiento arqueológico en abierto.

SILEX, la Infraestructura de Datos Espaciales de Casa Montero, tiene como objetivo último la publicación integral y en libre acceso de la información generada por el proyecto. El resultado de este esfuerzo en I+D+I tiene dos vertientes destacadas. En primer lugar, la creación de un producto novedoso y tecnológicamente innovador. En segundo lugar, la distribución generalizada de la totalidad de la información cuantitativa y cualitativa obtenida durante los años de investigación del yacimiento arqueológico.

Casa Montero se sitúa al este del municipio de Madrid (España), en plena zona de crecimiento de la ciudad, sobre los escarpes que dominan el valle del río Jarama. La mina se descubrió en septiembre de 2003 durante los preceptivos trabajos arqueológicos realizados con carácter previo a la construcción del tercer cinturón de circunvalación de Madrid (M-50). La Dirección General de Patrimonio Histórico de la Comunidad de Madrid, ante la singularidad e importancia del yacimiento, obligó a modificar el trazado de la carretera, que, desplazándose 60 m hacia el oeste, permitía conservar el área de mayor concentración de restos. La excavación arqueológica se llevó a cabo en tres campañas (24 meses) entre septiembre de 2003 y agosto de 2006 y produjo un

1. *SILEX*: <http://www.casamontero.org/>

2. *SILEX* ha sido desarrollado como parte del “Proyecto de Investigación Arqueológica en el yacimiento de Casa Montero (Madrid). Producción y circulación de sílex en el neolítico de la Meseta”, financiado por Autopista Madrid Sur C.E.S.A. en el marco del Convenio de Colaboración entre la Consejería de Cultura y Deportes de la Comunidad de Madrid, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y Autopista Madrid Sur Concesionaria Española, S.A. para la investigación, conservación y difusión del yacimiento arqueológico de Casa Montero (Madrid).

conjunto de datos vasto y complejo, especialmente en lo relativo al registro de campo y al inventario y estudio del material lítico.

Se desbrozó una superficie de 4 hectáreas, donde se localizaron casi 4000 estructuras. Tras el muestreo aleatorio de las dos primeras campañas, que permitió la caracterización de las estructuras extractivas, en la tercera se llevó a cabo un muestreo sistemático alineado, que ofreció la oportunidad de conocer el comportamiento de conjuntos de pozos (Díaz-del-Río *et al.*, 2007).

Se excavaron 818 interfaces, todos los cuales son unidades estratigráficas negativas. De ellos, SILEX recoge sólo 737, excluyendo una parte de las estructuras excavadas durante la segunda campaña (fundamentalmente pozos), en las que apenas se alcanzaron los 2 m de profundidad durante el proceso de excavación arqueológica (para los problemas relativos a esta segunda campaña ver Díaz-del-Río *et al.*, 2008: 201). Como se observa en la tabla I, el mayor número de estructuras pertenece al Neolítico Antiguo, de las que con claridad 339 tienen fines extractivos (pozos, pozos de tanteo y cantera). Tanto el grupo “otros”, que incluye agujeros de poste, de cabrestante y pates hallados en el interior de los pozos, como las excavaciones laterales son interfaces ligadas a los pozos de extracción de sílex.

TABLA I
DISTRIBUCIÓN DE LAS INTERFACES RECOGIDAS EN SILEX POR FASES

	<i>Cronología de la interfaz</i>						<i>Suma</i>
	<i>Indet. previa a pozo</i>	<i>Neolítica</i>	<i>Indet. previa a silo</i>	<i>Edad del Bronce</i>	<i>Moderna</i>	<i>Indet.</i>	
<i>Pozo</i>		345					345
<i>Pozo de Tanteo</i>		23					23
<i>Excavación Lateral</i>		187					187
<i>Cubeta</i>	8	13	4	5		33	63
<i>Cantera</i>	2	1				3	6
<i>Silo</i>				22			22
<i>Enterramiento</i>				2			2
<i>Interfaz Natural</i>						2	2
<i>Otros</i>		26					26
<i>Indeterminado</i>	3	2	1		17	38	61
<i>Suma</i>	13	597	5	29	17	76	

En cuanto a los depósitos, se han excavado un total de 4624, de los que SILEX recoge 3240 (tabla II), por los mismos motivos que en el caso de las interfaces. Constituyen mayoritariamente los rellenos de las estructuras subte-

rráneas del yacimiento, especialmente de aquellas destinadas a la explotación del sílex en época neolítica.

TABLA II
DISTRIBUCIÓN DE LOS DEPÓSITOS RECOGIDOS EN SILEX POR FASES

	<i>Cronología de los depósitos</i>						
	<i>Indet. previa a pozo</i>	<i>Neolítica</i>	<i>Indet. previa a silo</i>	<i>Edad del Bronce</i>	<i>Moderna</i>	<i>Indet.</i>	<i>Suma</i>
<i>Relleno Pozo</i>		2457				28	2485
<i>Relleno Pozo de Tanteo</i>		84					84
<i>Relleno Excavación Lateral</i>		29					29
<i>Relleno Cubeta</i>	21	23		17	2	83	146
<i>Relleno Silo</i>				101			101
<i>Relleno Enterramiento</i>				6			6
<i>Inhumación</i>				2			2
<i>Relleno Otros</i>		10					10
<i>Estrato horizontal</i>	42	33				24	99
<i>Depósito cerámico</i>		3		4			
<i>Relleno de Cerámica</i>		3		3			
<i>Relleno Indet.</i>	23	4			87	151	265
<i>Suma</i>	86	2646	0	133	89	286	

SILEX muestra la descripción pormenorizada de cada interfaz y depósito mediante una serie de atributos (100 y 58 respectivamente). Son comunes a ambas entidades los atributos dedicados a la identificación, localización, caracterización estratigráfica y física, relaciones físicas y estratigráficas, interpretación, observaciones y documentación. Además, cada entidad tiene sus propios atributos específicos. En el caso de las interfaces, junto a las propiedades de las estructuras básicas de explotación, se definen de forma independiente tanto las *Evidencias de Explotación* (EE) como los *Medios Auxiliares para la Explotación* (MAE), que, aunque indefectiblemente vinculados a los pozos, requieren descriptores muy particulares. Las EE son reveladoras de los trabajos de excavación, de las preferencias por determinadas calidades silíceas y del grado de intensidad de la explotación. Son EE las *Vetas de Sílex* cortadas por los pozos, las *Marcas de Herramientas* visibles en las paredes de éstos y las denominadas *Excavaciones Laterales*, angostas galerías o gateras producto de la sobreexplotación puntual de una veta. El conjunto de los MAE reúne 5 categorías de elementos que creemos han servido para facilitar los trabajos de excavación de los pozos y extracción del sílex de su interior. Algunos MAE son interfaces en sí mismos (*Agujeros de Cabrestante*, *Agujeros de Poste* y *Pates*), mientras que *Repisas* y *Estrechamientos* forman parte intrínseca de las paredes del pozo.

En el caso de los depósitos, lo más peculiar de su descripción en SILEX es la tipificación de los sedimentos constitutivos de los rellenos en 6 tipos y la reseña de su posición (basal, intermedia o superior) en la secuencia estratigráfica de los pozos.

La combinación de ambos datos permite realizar un diagnóstico sobre las estrategias de colmatación intencionada de las estructuras de explotación. Se recoge también la presencia/ausencia de materiales arqueológicos, así como el peso y densidad de los restos líticos e industria lítica en cada relleno.

Los restos líticos constituyen el material más abundante recuperado en Casa Montero; su peso total asciende a 65.885 kg. El conjunto está formado mayoritariamente por productos de desecho de la extracción y configuración de los nódulos de sílex (Castañeda y Criado, 2006; Castañeda *et al.*, 2008; Castañeda, 2009). SILEX gestiona la información de un muestreo de 190.828 piezas (tabla III). El estudio se articula en cuatro niveles de análisis de las piezas, que van desde el simple recuento por categorías al análisis completo mediante la cumplimentación de 63 atributos descriptivos. Éstos recogen información respecto a la materia prima, alteraciones, caracteres morfométricos y tecnológicos. Además, categorías como son las láminas y núcleos tienen un estudio específico encaminado a la caracterización de aquellas particularidades que no se recogen en el análisis general.

TABLA III
RECUEENTOS DE UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS Y PIEZAS, POR NIVEL DE ANÁLISIS EN SILEX POR FASES

Nivel de estudio (UE)		Número de UEs		Nivel de análisis (pieza)	Número de piezas				
		Todas las fases	Sólo fase neolítica		Todas las fases		Sólo fase neolítica		
Clasificado mínimo	1	160	87	No analizado (sólo clasificado)	0	166458		145439	
Clasificado completo	2	217							
Análisis	3	45		Análisis general	1	20178		18966	
				Análisis selecto mínimo	2	1498	4192	1498	4192
				Análisis selecto completo	3	2694		2694	
TOTAL		422	349	TOTAL		190828		168381	

Entre los restos líticos son minoritarias las BNEs por su materia prima (clastos de cuarcita preferentemente), su procedencia externa al yacimiento y su funcionalidad (percutores). SILEX recoge el inventario de este conjunto de 4663 piezas así como aquellas analizadas (513) (tabla IV). El análisis general de la pieza (materia prima, alteraciones, conservación, forma y medidas) se realiza en 10 atributos mientras otros 10 se destinan a la caracterización de las superficies de trabajo, aquellas que presentan huellas macroscópicas de uso.

En suma, SILEX permite gestionar y distribuir de forma eficiente y sistemática un conjunto de datos heterogéneo, complejo e ingente de cara a la caracterización de aspectos precisos de un yacimiento inusual como es una mina de sílex. En los siguientes apartados se describe la arquitectura de este sistema de información (ver referencias previas en Fraguas *et al.*, 2008, 2009, 2010a, 2010b).

TABLA IV
 RECUENTO DE BNEs, POR NIVEL DE ANÁLISIS

<i>BNEs</i>		
<i>Nivel de estudio</i>	<i>Núm. de piezas</i>	<i>Núm. de superficies de trabajo</i>
Inventario	4663	
Estudio	2416	
Análisis	513	1580

2. UN SISTEMA ABIERTO E INTEROPERABLE

Según Feltrero (2007: 11), “cualquier reflexión sobre el diseño y el desarrollo tecnológico debe incorporar una mirada ética”. En nuestro caso, dicha postura ética se basa en la idea que compartir el conocimiento contribuye al desarrollo de la sociedad, en general, y de la ciencia, en concreto. Es por ello que una de las directrices que guiaron el desarrollo de SILEX fue hacer efectiva la distribución integral y sin restricciones de los datos primarios, los procedimientos y los resultados en él implicados.

En el campo de las TIC, este enfoque se conoce como *abierto* (*open*, en inglés) (Walsh, 2010). El desarrollo de las tecnologías digitales de almacenamiento, organización y distribución de la información ha propiciado entre los usuarios la creciente conciencia de las posibilidades que ello ofrece en la trasmisión e intercambio del conocimiento y la reivindicación de su realización efectiva. Dentro del enfoque abierto se pueden distinguir tres aspectos (Lobo, 2010): *Open Data*, *Open Source* y *Open Access*.

El concepto de *Open Data* es el más directamente relacionado con los objetivos de SILEX y consiste en que los datos primarios generados por la actividad científica, en concreto, e institucional, en general, sean accesibles de forma integral:

*By open data in science we mean that it is freely available on the public Internet permitting any user to download, copy, analyse, re-process, pass them to software or use them for any other purpose without financial, legal, or technical barriers other than those inseparable from gaining access to the Internet itself. To this end data related to published science should be explicitly placed in the public domain*³.

Habitualmente, el acceso al conjunto de los datos primarios de una excavación arqueológica es complicado para la mayor parte de los investigadores. Las memorias y publicaciones elaboradas por los excavadores suelen presentar dichos datos de forma parcial, presentando aquellos más significativos, o sintética, en forma de gráficos y resúmenes numéricos. Por otra parte, pese al desarrollo de las tecnologías digitales, sigue

3. Panton Principles. Principles for Open Data in Science: <http://pantonprinciples.org/>

siendo mayoritaria la publicación de información arqueológica en formato analógico, bajo la forma del tradicional inventario en papel. SILEX pretende salvar estas limitaciones, facilitando a cualquier investigador el acceso directo y completo a los datos primarios del yacimiento de Casa Montero. Además, dicho acceso es dinámico, a través de un interfaz web que permite explorar, consultar y extraer conjuntos específicos de datos según los criterios explicitados por el usuario. La idea no es publicar un libro digital estático y plano, sino una herramienta para la selección y descarga de información. El acceso a los datos primarios permite a los investigadores realizar análisis alternativos y obtener resultados científicos complementarios o incluso contradictorios a los generados en su momento por los propios excavadores del yacimiento.

Pasando al segundo aspecto del enfoque abierto, el *software* empleado en la implementación del sistema tiene mayoritariamente licencias de uso tipo *Open Source*⁴ (*Código Abierto*) y *Free Software*⁵ (*Software Libre*). La diferencia entre ambos conceptos consiste en que el primero tiene un significado más tecnológico, mientras que el del segundo es más político. En cualquier caso, en la actualidad se conoce la combinación de ambos tipos de licencia de software con el acrónimo FOSS (*Free and Open Source Software*) (ver en el apartado 9 una relación del software FOSS utilizado en el desarrollo de SILEX).

Por último, el concepto de *Open Access* se refiere a la publicación de los artículos científicos en Internet de forma gratuita⁶. A este respecto, es accesible toda la documentación producida desde el Proyecto Casa Montero, en general, y SILEX, en concreto, a fin de mostrar en su totalidad su desarrollo teórico, metodológico y tecnológico.

El intercambio de datos requiere el uso de un lenguaje común entre el productor y el usuario a la hora de garantizar la *interoperabilidad*, esto es, la capacidad de compartir y transmitir información entre diversos sistemas. La interoperabilidad conlleva la utilización de *estándares*, como sucede en el caso de SILEX. De los estándares utilizados en su desarrollo, algunos son relativos a Internet, como los creados por el *World Wide Web Consortium* (W3C)⁷ (protocolo HTTP, lenguaje XML). Otros se refieren a la información geográfica y espacial, como los propuestos por el *Open Geospatial Consortium* (OGC)⁸ (lenguaje GML, servicios web OGC). De hecho, muchos de estos estándares *de facto* han pasado a ser estándares *de iure* mediante su conversión en normas ISO (*International Organization for Standardization*), como en el caso de XML y GML y de algunos servicios OGC, como WMS.

El afán de interoperabilidad y estandarización ha tenido su eco en el ámbito legal y administrativo, a través de la promulgación de leyes que promueven la normalización y la distribución libre y abierta de los datos generados por las instituciones públicas. Un ejemplo pionero es la Directiva INSPIRE de la Unión Europea⁹, la cual reclama

4. Open Source: <http://www.opensource.org/>

5. Free Software: <http://www.fsf.org/>

6. Budapest Open Access Initiative: <http://www.soros.org/openaccess/index.shtml>

7. World Wide Web Consortium (W3C): <http://www.w3.org/>

8. Open Geospatial Consortium: <http://www.opengeospatial.org/>

9. INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe): <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/> Directiva INSPIRE 2007/2/EC: <http://eur-lex.europa.eu/JOHtml.do?uri=OJ:L:2007:108:SOM:ES:HTML>

la estandarización y publicación vía Internet de los datos geoespaciales creados por sus estados miembros. Dicha directiva ha sido transpuesta al ordenamiento jurídico español por medio de la *Ley 14/2010 de Infraestructuras y Servicios de Información Geográfica en España* (LISIGE).

3. ARQUITECTURA DEL SISTEMA

SILEX es una *Infraestructura de Datos Espaciales* (IDE). Una IDE se define como “un sistema informático integrado por un conjunto de recursos (catálogos, servidores, programas, datos, aplicaciones, páginas Web,...) dedicados a gestionar Información Geográfica (mapas, ortofotos, imágenes de satélite, topónimos,...), disponibles en Internet, que cumplen una serie de condiciones de interoperabilidad (normas, especificaciones, protocolos, interfaces,...) que permiten que un usuario, utilizando un simple navegador, pueda utilizarlos y combinarlos según sus necesidades”¹⁰. A partir de esta definición, consideramos tres elementos imprescindibles en una IDE: la presencia de información de tipo espacial o geográfico (en la línea de los Sistemas de Información Geográfica), su accesibilidad a través de la Red y su diseño según estándares y normas, a fin de hacer posible la compatibilidad entre diferentes IDEs.

SILEX es un sistema de información *distribuido*, esto es, accesible a través de Internet. El diseño de SILEX se basa en la propia arquitectura de la *World Wide Web*, cuyo principal exponente es el protocolo HTTP. La información se organiza en *recursos*, a cada uno de los cuales corresponde su propio identificador universal o URI (*Uniform Resource Identifier*) (Berners-Lee, 1996), al que también podemos referirnos en términos navegacionales como URL (*Uniform Resource Locator*). En el caso de los recursos de información espacial, sus URIs correspondientes incorporan un procedimiento remoto (RPC, *Remote Procedure Call*). El uso de URIs como punteros de acceso a la información hace de SILEX una base de datos *orientada a grafos*, una red de nodos de conectados por arcos o relaciones a través de un sistema distribuido (fig. 1).

Si cada recurso de información (por ejemplo, un pozo, un depósito o una pieza lítica) tiene su propio URI, es accesible mediante cualquier aplicación de *software* capaz de navegar por la Web. Al ser cadenas de texto, pueden ser fácilmente almacenadas (por ejemplo, en tablas o en el propio directorio de “Favoritos” del navegador) y compartidas (por ejemplo, vía correo electrónico). Además, pueden ser indexadas por los buscadores, como Google, lo que permite localizarlas mediante estas herramientas. Si los recursos además están vinculados mediante sus propios URIs, es posible navegar a través de todo el conjunto de datos usando vínculos, del mismo modo en que se exploran las páginas web. Por tanto, si varios servidores publican información y todos ellos comparten un marco de publicación (*Framework*) común, cualquier cliente podrá obtener datos de ellos. El *framework* puede funcionar como un catálogo,

10. Definición de IDE: http://www.idee.es/show.do?to=pideep_que_es_IDEE.ES

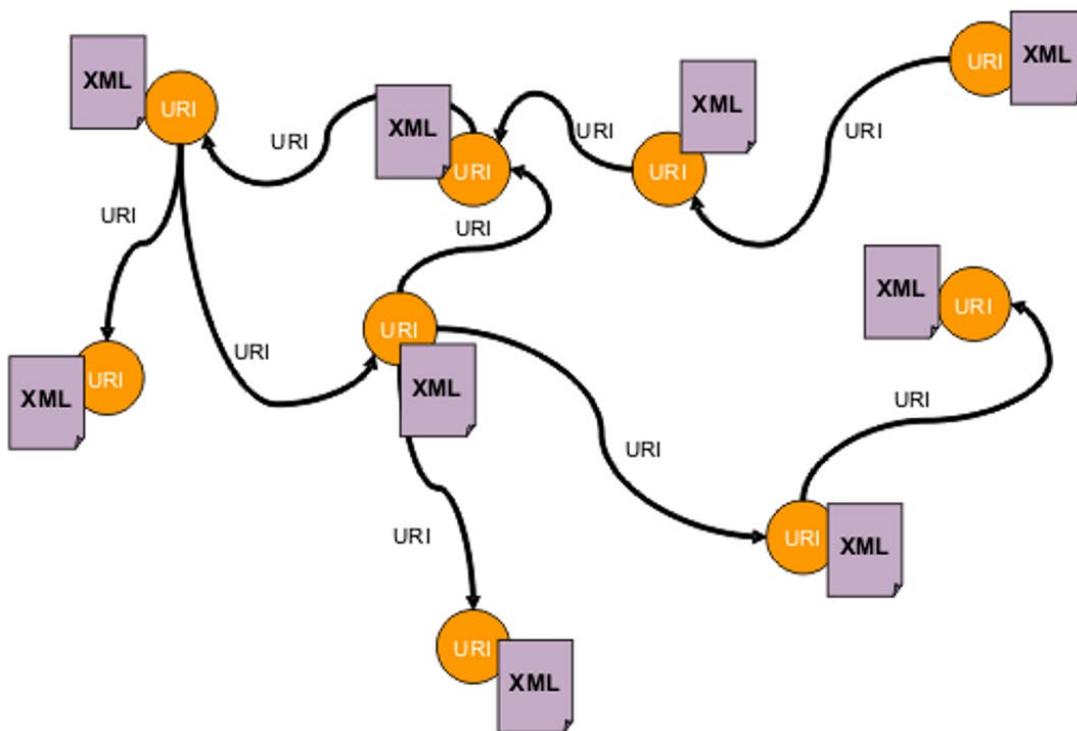


Fig. 1.—Grafo en el que se representan las relaciones entre recursos de información.

mediante el indexado de recursos localizados en diferentes servidores, de modo que estén conectados unos con otros.

Como sistema de información distribuido, SILEX tiene una típica arquitectura multi-capa, compuesta por tres niveles (fig. 2): 1) capa de persistencia o almacenamiento (base de datos); 2) capa de procesamiento, para el acceso a los datos; 3) y capa de visualización o presentación o interfaz de usuario web. En el caso de SILEX, la capa de procesamiento se ha construido como un *servicio web*. La complejidad creciente de los sistemas de información ha propiciado la codificación autónoma de cada uno de sus componentes o capas, realizándose la interacción entre ellos mediante interfaces. La principal ventaja de este tipo de arquitectura es que minimiza el impacto que la modificación de una capa sobre las demás. Los sistemas multi-capa son fácilmente escalables, es decir, pueden ampliarse y adaptarse a nuevas necesidades sin que ello comprometa su funcionamiento. Por ejemplo, en SILEX hemos seleccionado una base de datos nativa XML para el almacenamiento de la información temática; sin embargo, podríamos sustituirla por una base de datos relacional sin que ello afecte a las capas de servicios y de visualización.

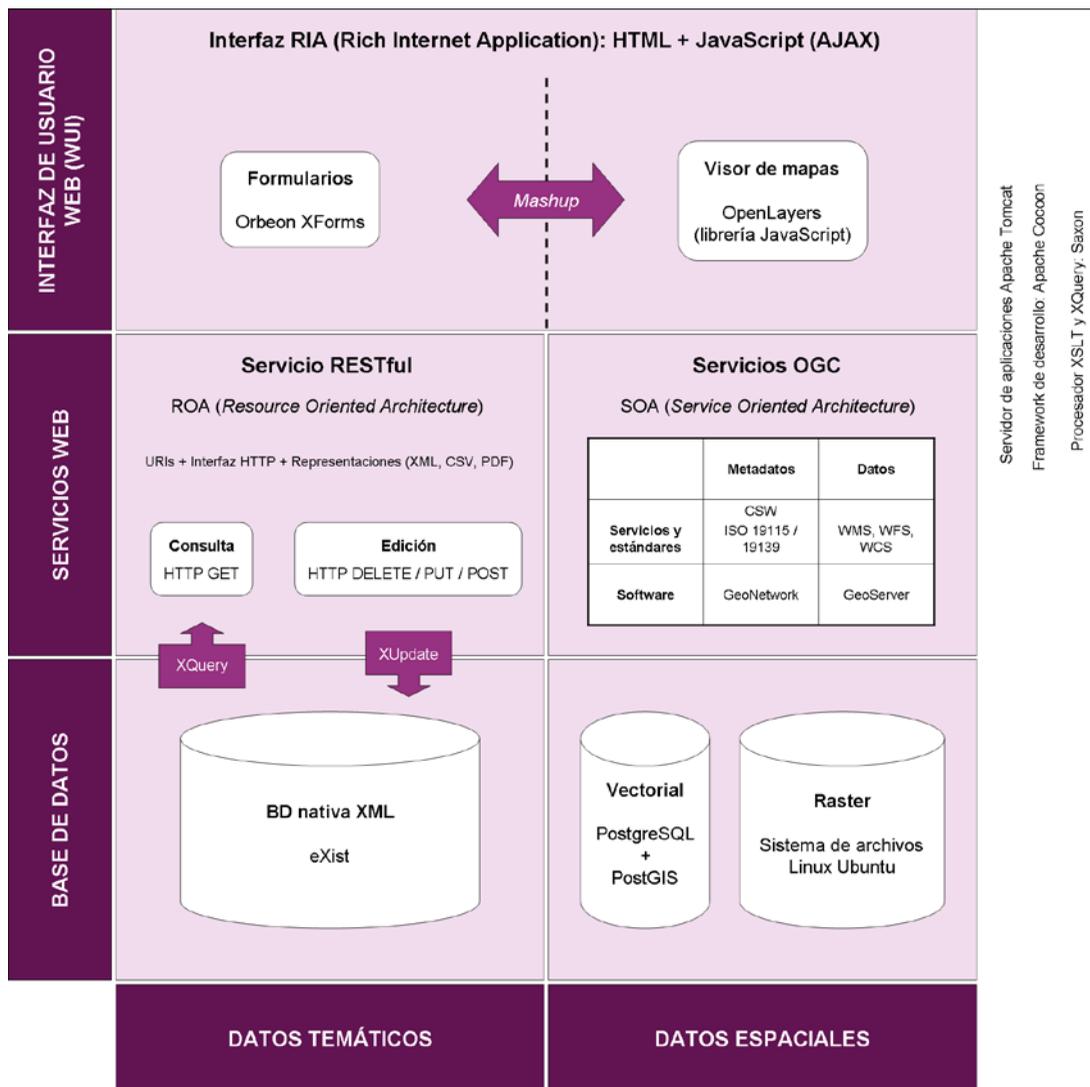


Fig. 2.—Arquitectura de SILEX.

4. LA BASE DE DATOS

SILEX, al igual que cualquier otra IDE o, en sentido más genérico, al igual que cualquier SIG, integra dos tipos de información: temática y espacial. Cada una de ellas ha sido organizada según un determinado *modelo de datos*, entendiendo por éste un conjunto de conceptos, reglas y convenciones que permiten describir una determinada realidad (De Miguel y Piattini, 1993: 162).

4.1. Modelo de datos: la base de datos temática

4.1.1. El Modelo Entidad-Relación Extendido (ERE)

La parte temática de la información es la más amplia y compleja. Ha sido organizada según el *Modelo Entidad-Relación Extendido (ERE)*, uno de los más utilizados actualmente en el diseño de sistemas de información. Dicho modelo es un desarrollo, a lo largo de los años 80 y 90 y a cargo de diversos autores, del ya clásico *Modelo Entidad-Relación (ER)* (Chen, 1976), con una fuerte incorporación de conceptos y métodos procedentes del enfoque *Orientado a Objetos* (Gogolla, 1994; Hartmann, 2003). El modelo ERE se basa en los conceptos de *entidad*, *atributo* y *relación*.

Como define el propio Chen (1976: 10), una *entidad* es una “cosa” que puede identificarse de forma diferenciada. Por ejemplo, una unidad estratigráfica, un pozo minero, una pieza lítica o una muestra arqueobotánica, si nos ceñimos a entidades arqueológicas contempladas en SILEX. Las entidades se agrupan genéricamente en *tipos de entidad* o, empleando la terminología del modelado orientado a objetos, *clases*. A nivel semántico, cada clase se representa mediante un sustantivo o una locución sustantiva (por ejemplo, *pozo* o *pieza lítica*). Una clase incorpora una serie de *atributos*, esto es, de propiedades o características a través de las cuales se describe cada entidad concreta, para la que cada atributo adopta un valor concreto (por ejemplo, el diámetro máximo y la cota absoluta de la boca en el caso de un pozo, o el peso y la materia prima en el caso de una pieza lítica).

Una *relación* es un vínculo entre entidades (Chen, 1976:10). A nivel semántico, dicho vínculo se expresa mediante un verbo. En el modelo ERE hay dos categorías básicas de relaciones:

1. Relaciones de *asociación*: Proceden del propio modelo ERE clásico. Expresan algún tipo de vínculo entre entidades (inclusión, composición, conexión, etc.), también denominado *rol*. A nivel semántico, el rol se expresa mediante un verbo activo (por ejemplo, una UE negativa *corta* UEs positivas o un depósito *contiene* hallazgos). Una característica de las relaciones de asociación es la *cardinalidad* o *multiplicidad*, que indica el número mínimo y máximo de entidades concretas de cada clase que intervienen en la relación. Existen tres tipos genéricos de cardinalidad:

- a. *Uno a uno*: Cada entidad de una determinada clase A está relacionada, como máximo, con una entidad de la otra clase B, y viceversa.
- b. *Uno a varios*: Cada entidad de la clase A puede relacionarse con más de una entidad de la clase B, e inversamente, cada entidad de la clase B sólo puede relacionarse, como máximo, con una entidad de la clase A.
- c. *Varios a varios*: Cada entidad de una determinada clase A puede estar relacionada más de una entidad de la clase B, y viceversa.

Cada uno de estos tres tipos básicos de cardinalidad se concreta mediante la especificación exacta del número mínimo y máximo de casos de cada entidad. Veamos

algunos ejemplos de cardinalidades, concretamente del tipo *uno a varios*, en el propio modelo de datos de SILEX (fig. 3). La relación entre *Herramienta* y *ParteActiva* exige al menos un elemento de cada clase de entidad; la cardinalidad sería (1,1) para *Herramienta* y (1,n) para *ParteActiva*. Esto significa que toda parte activa debe pertenecer a una herramienta, mientras que toda herramienta, por el hecho de serlo, debe tener al menos una parte activa. Por el contrario, en la relación entre *Unidad-Muestreo* y *UENegativa* la cardinalidad es (0,1) y (0,n), respectivamente, lo que significa que puede haber UEs negativas que no estén vinculadas a unidades de muestreo y, además, unidades de muestreo sin UEs negativas. Como último ejemplo, la relación entre las clases *Nivel* y *Levantamiento* presenta cardinalidades (1,1) y (0,n), ya que un levantamiento tiene que estar asociado necesariamente a un nivel, pero pueden existir niveles sin levantamientos vinculados.

2. Relaciones de *herencia*, también denominadas de *especialización/generalización* (E/G): Han sido adoptadas del enfoque orientado a objetos. Establecen relaciones taxonómicas entre clases, las cuales expresan la pertenencia de una determinada clase, denominada *subclase*, a otra clase de nivel más general / genérico o superior, denominada *superclase*. Semánticamente se expresan mediante el verbo *ser* (por ejemplo, una lámina *es* una pieza lítica o un pozo *es* una UE negativa). En otras palabras, una subclase es una *especialización* de una superclase, una categoría más específica de ésta (por ejemplo, una lámina es una subclase de pieza lítica). Inversamente, una superclase es una *generalización* de una subclase, una categoría más genérica (por ejemplo, una pieza lítica es una superclase de una lámina). En virtud de este tipo de relación, una subclase *hereda* los atributos de su superclase correspondiente, los cuales suma a los suyos propios. Por ejemplo, un atributo de una pieza lítica es el tipo de material, atributo que también es propio de la subclase lámina.

4.1.2. El modelo de datos temático de SILEX

SILEX tiene un modelo de datos complejo (fig. 3)¹¹. Se pueden distinguir tres bloques fundamentales: uno relativo al proceso de excavación del yacimiento, otro dedicado a las unidades estratigráficas y un tercero sobre los ítems arqueológicos, entre los cuales la industria lítica tiene una presencia predominante.

El primer bloque “cuelga” de la clase *Yacimiento*, que es el objeto de la excavación. Esta clase sólo comprende un único caso, el yacimiento de Casa Montero, debido a que SILEX ha sido diseñado ex profeso para éste. Podría pensarse, por tanto, que dicha clase es innecesaria. Sin embargo, abre la posibilidad de incluir nuevos yacimientos y, de este modo, extender el modelo a sus datos de excavación.

Sobre el yacimiento se han efectuado varias campañas de excavación (*Campaña*). En algunos casos, éstas han comportado la definición de determinadas unidades espaciales para la ejecución de los trabajos de excavación. Unas son las áreas (*Area*), destinadas a diferenciar determinadas partes del yacimiento. Otras son las unidades

11. <http://www.casamontero.org/webservice/schemas/modelo.pdf>

definidas y seleccionadas mediante la mencionada estrategia de muestreo sistemático alineado (*UnidadMuestreo*) (Díaz-del-Río *et al.*, 2007).

Los abundantes materiales arqueológicos recuperados en cada campaña han sido organizados en palés (*Pale*), cada uno de ellos formado a su vez por cajas (*Caja*).

El segundo bloque, el relativo a las unidades estratigráficas, ha sido diseñado según el *sistema Harris* (1991), en el que la entidad fundamental es la unidad estratigráfica (*UE*). Dicha clase tiene dos subclases, vinculadas a ella mediante sus respectivas relaciones de herencia, *UEPositiva* y *UENegativa*, resultado de la adición o sustracción de sedimento, respectivamente. La clase *UEPositiva* tiene una única subclase, *Deposito*, debido a que en la excavación de Casa Montero todas las UEs positivas documentadas fueron depósitos de relleno. En cuanto a las unidades negativas, existe una amplia variedad de subclases, todas las cuales, salvo *Fosa*, son resultado de los trabajos mineros: *Pozo*, *Pate*, *AgujeroPoste*, *AgujeroPolea*, *Fosa* y *ExcavacionLateral*. Por otra parte, la clase *MedioAuxiliar* incorpora diversas subclases, algunas de las cuales son UEs negativas (*Pate*, *AgujeroPoste*, *AgujeroPolea*) y otras no (*Estrechamiento*, *Repisa*).

Las relaciones estratigráficas entre las UEs se recogen en el modelo mediante relaciones de asociación: relaciones de superposición entre depósitos, relaciones de corte entre unidades negativas y, en tercer lugar, relaciones de relleno de unidades negativas por depósitos.

Una parte del yacimiento, de cronología paleolítica, fue excavada siguiendo un sistema diferente al Harris, mediante el registro de niveles arqueológicos (*Nivel*) y la división de cada uno en levantamientos artificiales (*Levantamiento*). Cabe señalar que la clase *Nivel* podría haberse asimilado conceptualmente a la de *UEPositiva* y haber constituido una subclase de ésta. Sin embargo, dada la especificidad de esta parte de la excavación, se decidió diferenciar los niveles como una clase aparte de la taxonomía establecida por Harris.

Además de las UEs y los niveles, en el proceso de excavación (concretamente en el de las unidades de muestreo) también se registraron las vetas de sílex (*Veta*). Éstas fueron identificadas durante la excavación de las unidades negativas, ya que habían sido cortadas por éstas en el pasado en el transcurso de las actividades mineras. Precisamente, la clase *CorteVeta* recoge las intersecciones de las vetas por las UEs negativas. A su vez, la clase *MuestraVeta* se refiere a las muestras de sílex tomadas en los cortes de las vetas.

El tercer bloque está dedicado a los ítems arqueológicos y tiene como eje la clase *Hallazgo*, de la que hay diversas subclases: *PiezaLitica*, *Fauna*, *IndustriaOsea*, *Ceramica*, *Arqueobotanica*, esta última a su vez con la subclase *MuestraCarbon*. La gran mayoría de los hallazgos pertenecen a la clase *PiezaLitica*, dadas las características del yacimiento, y su descripción detallada y sistemática mediante el *sistema lógico analítico* (Mora *et al.*, 1992) cubre una importante parte del modelo de datos. De este modo, hay un amplio conjunto de subclases de piezas líticas que responden a las categorías definidas por dicho sistema: bases naturales (*BNA*), bases positivas (*BP*), bases positivas fracturadas (*BPF*), etc. Algunas de estas clases tienen otras asociadas, como las superficies (*Superficie*) de las bases negativas o las superficies de talla (*SuperficieTalla*) con las bases negativas de primera y segunda generación (*BN1G* y *BN2G*). También se han considerado los remontajes de piezas líticas (*Remontaje*). Cada remontaje, a su

vez, puede tener superficie. Por último, algunas piezas líticas pueden ser herramientas (*Herramienta*), las cuales pueden presentar una o varias partes activas (*ParteActiva*).

Aunque ha sido diseñado específicamente para el yacimiento de Casa Montero, con sus idiosincrasia particular, cabe señalar que no es un modelo cerrado, ya que la gran mayoría de sus clases son extrapolables a otros casos de estudio y, además, admite la adición de otras nuevas que enriquezcan las posibilidades de descripción del registro arqueológico (por ejemplo, otros tipos de UE positiva distintas a los depósitos, u otros tipos de hallazgos, como objetos metálicos). Ello hace posible su aplicación a los datos de excavación de otros yacimientos.

4.2. Modelo de datos: la base de datos espacial

SILEX contiene dos conjuntos de datos espaciales: uno principal directamente vinculado a las base de datos temática y otro complementario, no relacionado con ésta.

La información espacial conectada con la base de datos temática está formada por una serie de capas vectoriales de tipo poligonal relativas a las UEs negativas, como por ejemplo los pozos, las fosas y las excavaciones laterales. Dichas capas han sido extraídas de la planimetría CAD de la excavación (fig. 4) y se ha asignado a cada uno de los elementos vectoriales el identificador de UE correspondiente. De este modo, cada elemento vectorial es la representación bidimensional de una UE negativa y lleva asociada la información temática de ésta mediante el citado identificador. El resto de las entidades arqueológicas de la base de datos temática (por ejemplo, los depósitos o los hallazgos) no tienen representación espacial propia, aunque sí están georreferenciadas de forma indirecta a través de las UEs negativas con las que están relacionadas.

Los datos espaciales complementarios consisten, por un lado, en capas creadas a partir de la propia información de la excavación (por ejemplo, los límites de la excavación o las unidades de muestreo) y, por otro, en capas alojadas en otras IDEs a las que se accede mediante servicios web, como el WMS del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).

4.3. La implementación

La información temática ha sido almacenada de manera desagregada en una base de datos nativa XML. Para la codificación, este tipo de bases de datos utiliza el lenguaje XML, un lenguaje estándar creado por el W3C y diseñado para el intercambio de información entre diferentes plataformas. Su condición de lenguaje estándar para el intercambio de información lo convierte en idóneo de cara a la interoperabilidad.

Con objeto de facilitar la validación y el posterior procesamiento del esquema, se han añadido anotaciones semánticas a la descripción de las entidades. La definición y

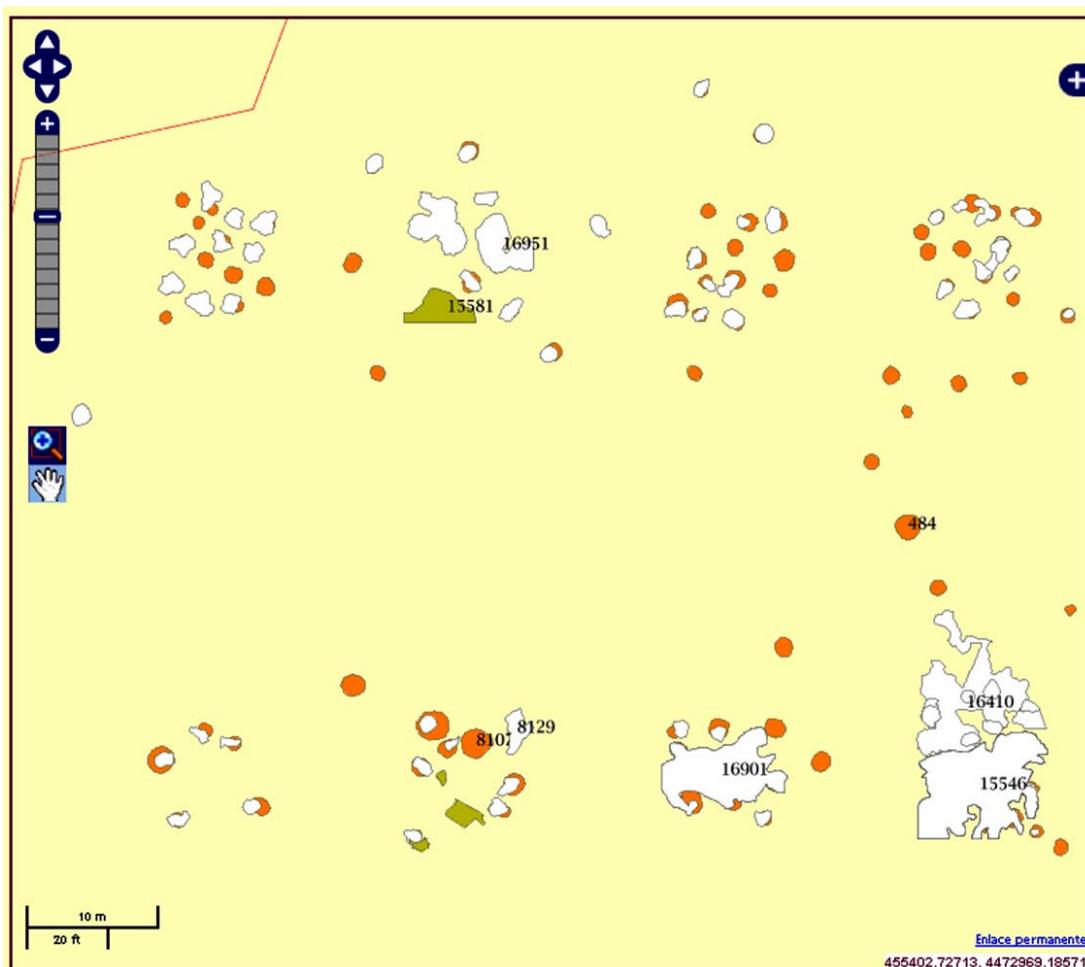


Fig. 4.—Entidades espaciales en el visor geográfico.

descripción de las clases del modelo de datos temático se ha llevado a cabo mediante CasamonteroML¹², un esquema XML creado *ad hoc*. La base de datos puede ser consultada mediante XQuery, un potente lenguaje creado por el W3C para bases de datos desarrolladas en XML. Así como SQL es el lenguaje de consulta de las bases de datos relacionales, XQuery lo es de los documentos XML.

Al tratarse de una base de datos desagregada, cada recurso de información está alojado en un documento XML independiente. Los recursos codificados son las entidades y las relaciones.

12. CasamonteroML: <http://www.casamontero.org/webservice/schemas/casamontero.xsd> <http://www.casamontero.org/webservice/schemas/casamontero.rng>

Los conjuntos de relaciones del modelo de datos de SILEX se definen en el archivo http://www.casamontero.org/webservice/schemas/relaciones_definicion.xml. En este documento se declaran las relaciones directas de asociación y herencia y se indica la ruta para llegar de un recurso a otro en las relaciones inferidas. Las relaciones no explícitas o que no pueden heredarse no están disponibles.

Por ejemplo, un fragmento de dicho documento, en el que se define la relación de asociación entre las clases *Campaña* y *Deposito* sería:

```
<relationship-def>
  <from>
    <Campaña xmlns="http://www.casamontero.org/2007"/>
  </from>
  <to>
    <Deposito xmlns="http://www.casamontero.org/2007"/>
  </to>
  <type>http://www.antoniomenchero.es/2008/relationships/types/association</type>
  <cardinality-from min="1" max="1"/>
  <cardinality-to min="0" max="unbounded"/>
  <roles>
    <role>
      <forward>http://www.casamontero.org/2007/relationships/roles/asociado_a</forward>
      <backward>http://www.casamontero.org/2007/relationships/roles/extraido_en</backward>
    </role>
  </roles>
</relationship-def>
```

Las relaciones de generalización o herencia están especificadas por medio de “programación” en los esquemas XML (RNG y XSD), definiendo tipos comunes para las clases que comparten tipos. Por ejemplo, se define el tipo *TipoMagnitudLongitudUE* y se utiliza para el atributo *Profundidad* de la Clases *Pozo* y de la Clase *Pate*.

Las relaciones de asociación se representan en la base de datos como documentos XML. Su esquema está disponible en: <http://www.casamontero.org/webservice/schemas/relaciones.rng>. Veamos un ejemplo:

```
<relationship id="campanyas_2_depositos_3360_asociado_a_extraido_en" from-name="Campaña"
  from-namespace-uri="http://www.casamontero.org/2007"
  from-uri="http://www.casamontero.org/webservice/campanyas/2"
  to-name="Deposito"
  to-namespace-uri="http://www.casamontero.org/2007"
  to-uri="http://www.casamontero.org/webservice/depositos/3360"
  from-to-role="http://www.casamontero.org/2007/relationships/roles/asociado_a"
  to-from-role="http://www.casamontero.org/2007/relationships/roles/extraido_en"/>
```

La relación entre las entidades origen y destino incluye tres datos para cada entidad: su nombre (el mismo que se utiliza en XML), su espacio de nombres y su URI. Debe

existir correspondencia entre el nombre y el espacio de nombres de estos elementos y los de los documentos XML.

Aunque las relaciones son bidireccionales, suele haber un sentido preferente de navegabilidad. El atributo *from-to-role* indica el rol que juega la entidad origen en la relación y el atributo *to-from-role*, el de la entidad destino. Como puede apreciarse, los identificadores de los roles también son URIs.

Las entidades pueden relacionarse de forma directa o inferida. En el ejemplo citado más arriba, la relación es de tipo directo. El conjunto de entidades *Campaña* del espacio de nombres "<http://www.casamontero.org/2007>" está vinculado con el conjunto de entidades *Deposito* del mismo espacio de nombres mediante una relación de asociación. El rol directo (*forward*, de la entidad origen a la destino) es "http://www.casamontero.org/2007/relationships/roles/asociado_a" y el rol inverso (*backward*, de la entidad destino a la origen) es "http://www.casamontero.org/2007/relationships/roles/extraido_en". En función de la bidireccionalidad de las relaciones, cada rol directo tiene un rol inverso. Asimismo, puede haber varios roles para el mismo tipo de relación entre dos conjuntos de entidades.

Decimos que entre dos entidades hay una relación inferida si es posible relacionarlas a través de relaciones directas con entidades intermedias. Sólo se definen aquellas relaciones que tienen sentido y no presentan ambigüedades.

Por ejemplo, supongamos que estamos interesados en la relación de cierta entidad *Hallazgo* con determinada entidad *UENegativa*. Según el diagrama UML no hay relación directa de asociación entre ambos conjuntos de entidades. Las entidades *Hallazgo* están contenidas en entidades *Deposito*, las cuales a su vez rellenan entidades *UENegativa*. Para encontrar la relación entre determinada entidad *Hallazgo* y la entidad *UENegativa* de la que procedería, es necesario seguir esa cadena de relaciones.

En cuanto a la información espacial, las capas vectoriales están almacenadas en un sistema de gestión de base de datos objeto-relacional con módulo espacial.

La base de datos tiene vinculados documentos digitales de dos tipos: fotografías relativas a diferentes tipos de entidades arqueológicas, tanto hallazgos como unidades estratigráficas, y dibujos de las secciones de los pozos mineros (clase *Pozo*) (fig. 5). Dichos documentos son ficheros con formatos estándar (las fotografías en JPG y los dibujos en PDF) y están almacenados en la propia estructura de directorios del servidor web.

5. EL SERVICIO WEB

SILEX está organizado como un *mashup* que combina diversos recursos web a los que se accede mediante diferentes servicios. Hemos utilizado dos tipos de arquitecturas de software diferentes: para los datos temáticos, una *Arquitectura Orientada a Recursos* (*Resource Oriented Architecture*, ROA), y para los datos espaciales, una *Arquitectura Orientada a Servicios* (*Service Oriented Architecture*, SOA) (ver una comparación en tabla V). ROA utiliza el protocolo HTTP, el protocolo de transferencia de datos en que se fundamenta la Web. SOA, por su parte, se basa en el protocolo SOAP (*Simple Object Access Protocol*), implementado a su vez sobre HTTP. La combinación de am-

bas arquitecturas ya fue ensayada en ARANO¹³, una IDE dedicada al arte rupestre de África nororiental (Fraguas, 2008).

Mediante ROA se accede directamente a los recursos, mientras que con SOA se llega a éstos a través de servicios. La *granularidad*, es decir, el nivel máximo de división con el que se puede acceder a la información, es más fina en ROA que en SOA, ya que permite acceder al recurso de información sin necesidad de recuperar todo el conjunto y luego filtrarlo.

Respecto a la parte del *mashup* encargada de interactuar con la información temática, basada en la *Arquitectura Orientada a Recursos (ROA)*, quizás supone el aporte tecnológico más novedoso del sistema. Ésta ha sido implementada mediante servicios RESTful (Richardson y Ruby, 2007), que consiste en un conjunto de directrices para la implementación de la arquitectura REST (Fielding, 2000).

Según sus diseñadores, ROA tiene cuatro ventajas (Richardson y Ruby, 2007: 79): 1) *addressability*: el servicio web expone al menos un URI para cada fuente de información; 2) *connectedness*: la representación solicitada incluye URIs de otros recursos y formas con las que se puede construir otro URI, por lo que el cliente puede descubrir nueva información simplemente siguiendo los enlaces; 3) *statelessness*: cada petición al servicio web ocurre de forma aislada a las demás, incluyendo toda la información necesaria para generar una respuesta, es decir, el servidor no requiere datos adicionales acerca de las solicitudes anteriores, aunque si fuera necesario ésta se facilitará de nuevo por el cliente; 4) *uniform interface*: las operaciones que pueden ser ejecutadas son las mismas para cualquier recurso.

Los servicios web de tipo RESTful requieren un interfaz uniforme. Éste lo proporciona el protocolo HTTP, que consiste en un conjunto de métodos, códigos de estado, cabeceras y contenidos distinguibles por su tipo MIME (*Multipurpose Internet Mail Extensions*).

Los métodos más importantes de HTTP son *POST*, *GET*, *PUT* y *DELETE*. Pueden compararse respectivamente con las operaciones básicas en

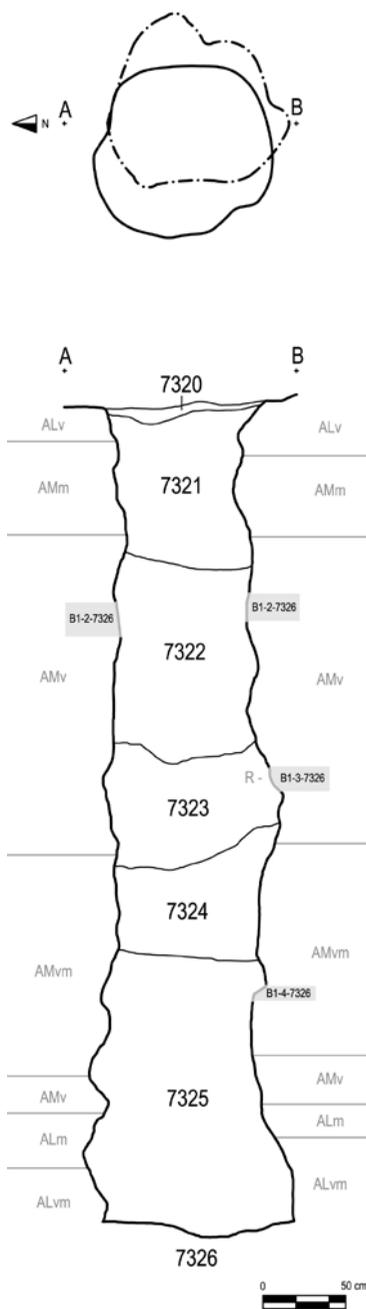


Fig. 5.—Sección arqueológica de un pozo y sus depósitos.

13. The Spatial Data Infrastructure of North-east African Rock Art (ARANO SDI): <http://www.arano.co.nr>

TABLA V
COMPARACIÓN DE ROA Y SOA (A PARTIR DE THELIN, 2003)

<i>Propiedad</i>	<i>Orientada a recursos</i>	<i>Orientada a servicios</i>
Granularidad	Recurso	Servicio
Objetivo principal	Direccionar solicitudes (habitualmente URLs)	Creación de una solicitud de carga
Direccionamiento	Única dirección por recurso	Una dirección final por servicio
¿Se pueden situar en caché las respuestas?	Sí	No
Interfaz de aplicación	Genérico del mecanismo de solicitud (p.e. verbos HTTP)	Específico de cada servicio (p.e. definido con WSDL)
Descripción de formato de los datos	Sí, el formato de los propios recursos	Sí, el formato de los mensajes de interacción y de la información intercambiada (p.e. XML Schema en WSDL)

bases de datos *CRUD* (*CREATE*, *READ*, *UPDATE* y *DELETE*), aunque la correspondencia no es completamente unívoca. El método GET equivale a una operación READ, y DELETE a la operación del mismo nombre. Sin embargo PUT puede resultar en una modificación de un recurso (UPDATE) o en su creación si no éste no tiene existencia previa (CREATE). El método POST es un método comodín; debería asociarse a la creación de recursos (CREATE), pero a veces se utiliza para invocar operaciones de modificación y borrado.

En este servicio web todos los recursos soportan peticiones HTTP GET a su URI, lo que devuelve una representación de los mismos. La actualización de los recursos mediante modificación, eliminación y creación se consigue con los métodos PUT, POST y DELETE, respectivamente.

En las siguientes secciones se describe con algo más de detalle el servicio web REST de SILEX. Para una definición exhaustiva de su funcionamiento debe consultarse el manual técnico del mismo ¹⁴.

En lo referente a la información espacial, se ha optado por una *Arquitectura Orientada a Servicios* (SOA), en la línea de la Directiva INSPIRE (Lucchi *et al.*, 2008). Esto permite integrar en el módulo espacial de SILEX los servicios y recursos de distintas IDEs e, inversamente, incluir éste como un nodo de otras.

La arquitectura SOA ha sido implementada mediante servicios OGC basados en el protocolo SOAP, que habilita llamadas independientes de la plataforma. Los servicios estándar definidos por OGC que SILEX utiliza son los siguientes:

- 1) *Web Map Service* (WMS), para servir imágenes de tipo cartográfico (en formato JPG y PNG) generadas a partir de capas georreferenciadas.

14. Aplicación Web Casa Montero: http://www.casamontero.org/webservice/schemas/WS_manual_1.0.pdf

- 2) *Web Feature Service* (WFS), para la solicitud de *fenómenos* (información vectorial). El fenómeno recuperado se codifica en formato GML (*Geographic Markup Language*)¹⁵, que es un metalenguaje XML para la descripción de fenómenos geográficos.
- 3) *Web Coverage Service* (WCS), para la solicitud de *coberturas* (información ráster) La cobertura recuperada, por ejemplo en formato GeoTIFF, es útil para su análisis espacial.
- 4) *Catalog Web Service* (CSW), para descubrir, hojear y consultar los metadatos de los datos, servicios y otros recursos.

SILEX soporta todas las solicitudes estándar de cada uno de los citados servicios OGC. Por ejemplo, WMS tiene dos tipos de solicitud obligatorias: *GetCapabilities* y *GetMap*. La primera devuelve el listado de capas geográficas que el servicio utiliza, mientras que la segunda es la encargada de generar los mapas a partir de dichas capas. El URI del *GetCapabilities* WMS de SILEX es:

<http://www.casamontero.org/wms?request=getCapabilities>

Por su parte, el URI del *GetMap* que permite visualizar la totalidad de los pozos excavados es:

<http://www.casamontero.org/wms?service=WMS&version=1.1.0&request=GetMap&layers=CM:pozos&styles=&bbox=455324.782,4472766.495,455465.555,4472993.947&width=316&height=512&srs=EPSG:23030&format=image/jpeg>

Resumiendo, el acceso a la información temática se realiza mediante peticiones tipo RESTful, mientras que la información espacial se recupera a través de peticiones tipo SOAP. Veámoslo con el ejemplo de un pozo concreto, el 3326. Si queremos obtener la información temática asociada a éste, utilizaremos el siguiente URI RESTful:

<http://www.casamontero.org/webservice/pozos/3326.xml>

Dicho URI nos devolverá los atributos temáticos del pozo 3326, en este caso en formato XML:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<Pozo xmlns="http://www.casamontero.org/2007">
  <URI>http://www.casamontero.org/webservice/pozos/3326</URI>
  <Id>3326</Id>
  <Identificacion>
```

15. Geographic Markup Language (GML): <http://www.opengis.net/gml/>

```

    <Anno>2006</Anno>
    <NumeroPlanimetria>2920</NumeroPlanimetria>
</Identificacion>
<Dimensiones>
    <Profundidad>443</Profundidad>
    <CotaAbsolutaBoca>650.41</CotaAbsolutaBoca>
    <CotaAbsolutaBase>st</CotaAbsolutaBase>
    <DimensionBoca>146 x 138</DimensionBoca>
    <DiametroMaximo>146</DiametroMaximo>
    <DiametroMinimo>60</DiametroMinimo>
</Dimensiones>
<Morfologia>
    <PlantaFosa>tipo2</PlantaFosa>
    <BaseTipo>nr</BaseTipo>
    <FondoTipo>nr</FondoTipo>
    <BocaTipo>tipo3</BocaTipo>
    <CorteEnBocaTipo>tipo3</CorteEnBocaTipo>
    <CorteEnBaseTipo>nr</CorteEnBaseTipo>
    <ParedesTipo>tipo1</ParedesTipo>
</Morfologia>
<Otros>
    <Fase>neolitica</Fase>
    <RepresentacionGrafica>http://www.casamontero.org</RepresentacionGrafica>
</Otros>
<Vetas>
    <NumeroVetas>2</NumeroVetas>
</Vetas>
<link:Resource xmlns:link="http://www.antoniomenchero.es/2007/link" href="http://www.casamontero.org/webservice/pozos/3326/relationships?show=link"/></Pozo>

```

Si lo que queremos es la información espacial del pozo 3326, utilizaremos un URI SOAP:

```

http://www.casamontero.org/wfs?service=WFS&version=1.0.0&request=GetFeature&typeName=CM:pozos&filter=%3CPropertyIsEqualTo%3E%3CPropertyName%3ECM:UE%3C/PropertyName%3E%3CLiteral%3E3326%3C/Literal%3E%3C/PropertyIsEqualTo%3E

```

Ésta dará como respuesta un documento GML:

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<wfs:FeatureCollection xmlns="http://www.opengis.net/wfs" xmlns:wfs="http://www.opengis.net/wfs"
xmlns:CM="http://www.casamontero.org/" xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml" xmlns:xsi="http://www.
w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:schemaLocation="http://www.casamontero.org/ http://www.casa-
montero.org:8082/geoserver/wfs?service=WFS&version=1.0.0&request=DescribeFeatureType&

```

amp;typeName=CM%3Apozos http://www.opengis.net/wfs http://www.casamontero.org:8082/geoserver/schemas/wfs/1.0.0/WFS-basic.xsd">

```

    <gml:boundedBy>
        <gml:null>unknown</gml:null>
    </gml:boundedBy>
    <gml:featureMember>
        <CM:pozos fid="pozos.25">
            <CM:the_geom>
                <gml:MultiPolygon srsName="http://www.opengis.net/gml/srs/epsg.
xml#23030">
                    <gml:polygonMember>
                        <gml:Polygon>
                            <gml:outerBoundaryIs>
                                <gml:LinearRing>
                                    <gml:coordinates
xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml" decimal="." cs="," ts=" " >455340.0284,4472953.4771 455340
.13726387,4472953.372312 455340.22775269,4472953.2513011 455340.29748523,4472953.1172517
455340.34462645,4472952.97369137 455340.36793584,4472952.8243979 455340.3668,4472952.6733
455340.36212519,4472952.59829876 455340.34496101,4472952.52513845 455340.31579186,447295
2.45588385 455340.27544098,4472952.39248948 455340.22504716,4472952.33674449 455340.1660
3265,4472952.29022216 455340.10006299,4472952.25423545 455340.029,4472952.2298 455339.848
28252,4472952.20127288 455339.66533262,4472952.20266638 455339.48507065,4472952.23394302
455339.31234465,4472952.29426164 455339.1518,4472952.382 455339.10533836,4472952.41093381
455339.06458659,4472952.44747342 455339.03077507,4472952.49051562 455339.00492465,4472952.538
76088 455338.9878158,4472952.59075257 455338.97996507,4472952.64492098 455338.98160948,44729
52.69963062 455338.9926994,4472952.75322972 455339.0129,4472952.8041 455339.0934,4472953.1438
455339.10495199,4472953.21326187 455339.1274418,4472953.27998973 455339.16029288,4472953.342273
455339.20266309,4472953.39851502 455339.25346625,4472953.44727401 455339.3114,4472953.4873
455339.407751,4472953.53589636 455339.51062841,4472953.56847488 455339.61738929,4472953.58
419862 455339.72529093,4472953.58266361 455339.83156133,4472953.56390931 455339.93347037,4
472953.52841751 455340.0284,4472953.4771</gml:coordinates>
                                </gml:LinearRing>
                            </gml:outerBoundaryIs>
                        </gml:Polygon>
                    </gml:polygonMember>
                </gml:MultiPolygon>
            </CM:the_geom>
            <CM:UE>3326</CM:UE>
        </CM:pozos>
    </gml:featureMember>
</wfs:FeatureCollection>

```

El servicio web de información temática trabaja con tres tipos de recursos de información: entidades, relaciones y vistas. Los dos primeros están alojados en la base

de datos (ver apartado 4) y son accesibles de forma directa mediante sus correspondientes URIs. Las *vistas* son subconjuntos de entidades que se seleccionan mediante la aplicación de una serie de criterios, relativos tanto al valor de sus atributos como a los roles de sus relaciones con otras entidades. Las herramientas de creación de vistas son de dos tipos: filtros y consultas. Ambas se expresan en forma de URIs y utilizan el lenguaje de consulta XQuery.

Los *filtros* se incluyen como parámetros de consulta en los URIs. Éstos son transformados a XQuery por medio de una XSLT, una hoja de transformación XML.

Los filtros devuelven conjuntos de entidades de tres maneras posibles:

1. Listas de entidades por tipo (no por tipo general) según el patrón de URI `http://www.casamontero.org/webservice/{entityA}?prop_A1=expr_a1&prop_A2=expr_a2&...`, que corresponde a las entidades del tipo A cuyas propiedades a1, a2, ... verifican las expresiones correspondientes. Si no hubiese parámetros de consulta sobre las propiedades de las entidades A, este URI devolvería todas las entidades.

2. Relaciones de una entidad con un cierto tipo de entidades según el patrón de URI `http://www.casamontero.org/webservice/{entityB}/related-to/{entityA}/{entityA-local-id}? prop_B1=expr_b1&prop_B2=expr_b2&...&role=uri_role`, que corresponde a las entidades del conjunto B cuyas propiedades b1 y b2 verifican las expresiones correspondientes que estén relacionadas directa o indirectamente con la entidad A cuyo identificador es IdA, siendo el rol de la relación aquel cuyo URI es uri_role. La especificación del rol es opcional. Si no hubiese parámetros de consulta sobre las propiedades de las entidades B, este URI devolvería todas las entidades B relacionadas con la entidad A en cuestión.

3. Relaciones entre entidades de dos tipos según el patrón de URI `http://www.casamontero.org/webservice/{entityB}/related-to/{entityA}?prop_A1=expr_a1&prop_A2=expr_a2&...prop_B1=expr_b1&prop_B2=expr_b2&...&role=uri_role`, que en lenguaje natural se expresaría como “¿qué entidades del conjunto A que tienen propiedades a1, a2, ... que satisfacen respectivamente las expresiones expr_a1, expr_a2, ... están relacionadas con entidades del conjunto B cuyas propiedades b1, b2, ... satisfacen respectivamente las expresiones expr_b1, expr_b2, ... y tal que el rol de las relaciones es aquel cuyo URI es uri_role?”. La especificación del rol es opcional. Si no hubiese parámetros de consulta sobre las propiedades de las entidades A y B, este URI devolvería todas las entidades A relacionadas con cualesquiera entidades B.

Pongamos el siguiente URI como ejemplo del tercer tipo de filtro:

`http://www.casamontero.org/webservice/pozos/related-to/bn1gs?pozo.dimensiones.profundidad=. gt 100&bn1g.dimensiones.longitud=. lt 100`

Éste devolvería, en un documento XML, un listado de pozos con profundidad mayor que 100 relacionados con hallazgos de tipo BN1G cuya longitud fuese inferior a 100.

La segunda forma de generar vistas es realizar *consultas* arbitrarias. Las consultas se formulan directamente mediante XQuery. Para proteger el sistema de posibles ataques maliciosos contra el servidor de SILEX, este tipo de consultas debe ser validado

por los administradores del sistema previamente a su inclusión en la lista de consultas predefinidas.

Un recurso puede tener múltiples *representaciones* (por ejemplo, como documento XML, HTML, PDF, etc.). Esta filosofía permite que con el mismo URI, complementado con la indicación de la extensión deseada, podamos obtener el documento en diversos formatos: en hipertexto para un navegador; en formato CSV para una hoja de cálculo, una base de datos personal o un programa de estadística; o en PDF para obtener fichas imprimibles de las entidades arqueológicas.

La representación por defecto es en XML, que es la misma que se utiliza en la base de datos. Dicha representación XML es la que se devuelve cuando no se explicita la extensión en el URI o cuando éste se completa con la extensión *.xml*. Si se utiliza la extensión *.csv* se devuelve una representación en formato CSV y la extensión *.pdf* permite obtener una representación como documento PDF.

6. EL INTERFAZ WEB DE USUARIO

La interfaz web de usuario (*Web User Interface*, WUI) es una aplicación web basada en navegador. El navegador tiene que implementar XHTML (*Extensible Hypertext Markup Language*, versión extendida de HTML) y *JavaScript*. Se trata de un cliente del servicio web comentado anteriormente, pudiendo de esta manera los usuarios navegar, consultar y actualizar los recursos de información despreocupándose del funcionamiento del propio servicio web. De esta manera, hemos desarrollado una *aplicación rica de Internet* (*Rich Internet Application*, RIA) que combina la tecnología AJAX (*Asynchronous JavaScript And XML*), XHTML y CSS (*Cascading Style Sheets*). AJAX interactúa con DOM (*Document Object Model*) a través del objeto *XMLHttpRequest*, que los navegadores contienen desde el año 2002.

La interfaz tiene un menú con enlaces a páginas estáticas descriptivas sobre las características principales de SILEX y a las listas de elementos de cada tipo de entidad. Además, hay un submenú para realizar consultas. Para ello, hay una serie de formularios que generan URIs para solicitar información al servicio web. Por ejemplo, la URL del ejemplo descrito en la consulta del apartado 5 se puede crear con estos formularios (fig. 6). La lista de las unidades devueltas por una consulta es un archivo XML que se visualiza por defecto como una forma *XHTML + JavaScript* que se genera de forma dinámica por medio de las definiciones *XForms* y que se puede convertir en un documento PDF o CSV.

Además, hay un visor geográfico para mostrar las capas espaciales. Uno puede “pinchar” en una determinada entidad geográfica y obtener la información temática vinculada a ella. A la inversa, cuando el resultado de una consulta temática involucra a entidades que tienen representación espacial, se puede ver su distribución en el visor.

Fig. 6.—Formulario para la generación de consultas temáticas.

7. PERSPECTIVAS: SILEX Y LA WEB SEMÁNTICA

La *World Wide Web* ha ido cambiando desde su nacimiento y, con ella, la forma de publicar la información, incluida la arqueológica.

En una primera fase, la Web 1.0, desde principios de los años 90, los documentos son de tipo *estático*, sin posibilidades de interacción del usuario más allá de los enlaces predefinidos en el diseño de las páginas. Si bien es cierto que puede presentarse información alojada en una base de datos, ésta se incluye en la propia página web. En cierto sentido, la Web 1.0 sería la versión digital de la biblioteca analógica. Los ejemplos arqueológicos de este tipo de documentos estáticos son innumerables. En lo que a la industria lítica prehistórica respecta, dos ejemplos son la página de localizaciones espaciales de materiales silíceos arqueológicos centroeuropeos¹⁶, o la dedicada a la industria lítica prehistórica de la región de los Montes Bakony, en Hungría¹⁷.

Desde 1995 se puede hablar de la Web 1.5, que posibilita la existencia de documentos *dinámicos*, generados a partir de la interacción del usuario con los contenidos de las páginas. En lo que a sistemas de información respecta, ello hace posible la búsqueda, selección y extracción de contenidos alojados en bases de datos, habitualmente de tipo

16. FlintSource.NET: <http://www.flintsource.net/>

17. Prehistoric industrial district in the Bakony Mountains: <http://www.ace.hu/szentgal/>

relacional. Es el caso del sitio web del yacimiento de *Çatalhöyük*¹⁸ o del *Corpus de Pintura Rupestre Levantina* Martín Almagro Basch¹⁹.

En 2004 surge la Web 2.0, concebida como un repositorio *compartido* de información accesible, no sólo por los internautas, sino también por los propios ordenadores, lo que posibilita realizar búsquedas sobre documentos web mediante lenguajes de consulta, como por ejemplo XQuery. Además, cobra un papel fundamental la incorporación de metadatos a la información web, para su adecuada identificación y clasificación, con lo que se abre la puerta a la denominada *Web Semántica*²⁰. Desde 2006, se ha ido fraguando en el seno de la Web Semántica el concepto de *datos enlazados* (*linked data*), presentado públicamente en 2009 por Tim Berners Lee. Dicho concepto se refiere al desplazamiento de una Web basada en los documentos (Web 1.0) a una red basada en de los datos (Web Semántica).

Veámoslo con un ejemplo. Si en un buscador no semántico (como por ejemplo Google) solicitamos las páginas relacionadas con la palabra “*flint*” (“sílex” en inglés), nos devolverá unos 26.200.000 enlaces, algunos tan variopintos como una empresa dedicada a pavimentos, la ciudad de Flint (Michigan) o una distribuidora de artículos náuticos. Es cierto que se puede acotar la búsqueda incluyendo el término “*prehistory*”, pero haciendo esto estaremos obviando todas las páginas en las que no aparezca éste literalmente. Por el contrario, esta misma búsqueda sobre un buscador semántico (por ejemplo, Hakia) devolverá enlaces cuyo contenido esté *semánticamente* relacionado con el significado de los términos “*flint*” y “*prehistory*” y, por tanto, el resultado estará más ajustado a la temática del aprovechamiento del sílex en la Prehistoria. La Web Semántica no sólo perfecciona las búsquedas, sino que abre nuevas posibilidades, como describen los casos de usos mostrados por la WWW²¹.

La tecnología que hace posible los datos enlazados en la Web Semántica son los documentos RDF (*Resource Description Framework*). RDF es un metalenguaje XML definido por el W3C en 1999. Mediante RDF se definen los metadatos de un recurso ubicado en la Web, lo cual permite que sea localizable, por ejemplo, mediante lenguajes como SPARQL (*SPARQL Protocol and RDF Query Language*) un lenguaje de consulta sobre grafos RDF. Aunque es una tecnología aún en fase de gestación, ya está interviniendo en la transformación de la Web en una gran base de datos interconectada donde no sólo se almacene información, sino que también se genere conocimiento. Ello se lleva a cabo mediante las denominadas *ontologías*, las cuales consisten en esquemas conceptuales que permiten a los sistemas informáticos *inferir* respuestas a partir de la información recuperada, esto es, descubrir nuevas relaciones entre los datos no imaginadas por el generador de los mismos. Las ontologías se pueden definir mediante OWL, un metalenguaje XML definido por el W3C en 2002.

Tanto SILEX como el ya mencionado ARANO son sistemas de información que van en la dirección de la Web Semántica, aunque sin pertenecer estrictamente a ella.

18. Çatalhöyük Databases On-line: <http://www.catalhoyuk.com/database/catal/>

19. Corpus Digital de Pintura Rupestre Levantina: <http://www.prehistoria.ih.csic.es/AAR/>

20. Web Semántica: <http://www.w3.org/standards/semanticweb/>

21. Semantic Web Case Studies and Use Cases: <http://www.w3.org/2001/sw/sweo/public/Use-Cases/>

Aunque la arquitectura de SILEX se asemeja a la de la Web Semántica, no sigue los estándares propios de ésta, como RDF y OWL. La inclusión de SILEX en la Web Semántica tendría que pasar por la migración y enlace de los datos, actualmente en formato XML, mediante RDF y por la definición de ontologías mediante OWL.

8. CONCLUSIONES

Los postulados metodológicos de SILEX se sitúan en la corriente principal de los sistemas de información distribuidos. En fecha tan reciente como 2009, durante la conferencia “*The Great Unveiling*”, celebrada el 4 de febrero en Long Beach (CA, USA)²², Tim Berners-Lee, el padre de la WWW, pidió al público que gritara “*raw data now!*”, en el contexto de los datos enlazados (*Linked Data*) y la Web Semántica. SILEX se sitúa en esta línea, al liberar la información primaria del yacimiento arqueológico de Casa Montero.

SILEX define un modelo de datos para describir y organizar la complejidad de diferentes tipos de entidades arqueológicas (depósitos, pozos, artefactos líticos, etc.), y las relaciones entre ellos. Incluye dos “ontologías” arqueológicas bien establecidas, como el sistema de Harris para describir y relacionar las unidades estratigráficas y el sistema lógico-analítico para la clasificación de industria lítica. El modelo de datos se ha implementado por medio de un formato estándar basado en XML.

Por otra parte, SILEX es un sistema distribuido que ofrece esta información a través de Internet. El acceso a la información se realiza mediante la tecnología estándar de la Web. Cada recurso temático de información es localizable a través de un URI y accesible mediante un simple navegador de Internet, gracias al uso del protocolo HTTP.

El *framework* de desarrollo web permite compartir datos, por lo que los arqueólogos pueden publicar la información producida por ellos mismos o, inversamente, recuperar aquella creada por los demás y analizarla con sus propias herramientas y criterios. Se ha desarrollado una aplicación web de administración para editar, guardar y publicar los datos arqueológicos a través del navegador web, lo que hace que los arqueólogos no tengan que conocer el funcionamiento interno del *framework* ni el formato XML y tampoco necesiten instalar aplicaciones propietarias en su sistema. Por otra parte, una aplicación web permite al arqueólogo consultar el conjunto completo de datos y recuperar el subconjunto que le interese. Por medio del uso de herramientas FOSS, hemos construido un *mashup* que da acceso a la información geográfica a través de servicios estándar definidos por OGC y adoptados por la Directiva INSPIRE de la Unión Europea.

SILEX fue presentado en la *2nd International Conference of the UISPP Commission on Flint Mining in Pre- and Protohistoric Times*, celebrada en Madrid del 14 al 17 de octubre de 2009 y es accesible en Internet²³.

22. Tim Berners-Lee on the next Web: http://www.ted.com/talks/tim_berniers_lee_on_the_next_web.html

23. SILEX: <http://www.casamontero.org/>

SILEX no es un sistema de información aislado, sino que pretende convertirse en un nodo de IDEs más generales, como la IDEE (la IDE española de información geográfica institucional), y la IDE Arqueológica, impulsada y diseñada desde el Centro de Ciencias Humanas y Sociales (CCHS) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) para la gestión y publicación de información espacial generada por diversos proyectos arqueológicos del CSIC²⁴.

En esta misma línea, el 28 de mayo de 2010 se constituyó el subgrupo el trabajo nº 12 sobre Patrimonio Histórico dentro del grupo de trabajo de la IDEE. Esta iniciativa se hace eco de la Directiva INSPIRE, que en su Anexo I (“Datos de referencia”) incluye los *lugares protegidos* por la legislación de los países comunitarios, entre los cuales se incluyen los yacimientos arqueológicos.

Aunque SILEX está dedicado a un yacimiento específico y ha sido diseñado según las características particulares de éste, puede servir como ejemplo para futuros sistemas de información de otros sitios arqueológicos. Debido a su flexibilidad, puede ser desarrollado para datos de otros yacimientos, así como incorporar otros tipos y niveles de información.

9. ANEXO: SOFTWARE UTILIZADO EN EL DISEÑO DE SILEX

1. Apache Tomcat, como un contenedor de servlets para aplicaciones web de montaje.
2. GeoServer, como un servidor para proporcionar capas de información geográfica a través de estándares OGC como WMS, WFS y WCS.
3. OpenLayers, como una biblioteca de Javascript para mostrar mapas dinámicos en páginas web.
4. GeoNetwork, para los metadatos que ofrece según las especificaciones del OGC CSW.
5. PostgreSQL y PostGIS, para el almacenamiento y la recuperación de datos y metadatos espaciales.
6. Apache Cocoon, como un entorno de publicación web basados en XML, para el diseño de aplicaciones web, tanto el servicio web y la interfaz web para acceder a datos temáticos.
7. XForms Orbeon, para la conversión de XForms en formas multi-navegador basado en HTML y Javascript.
8. Saxon, un motor de transformación XSLT, para convertir los documentos XML.
9. eXist, una base de datos nativa XML, para el almacenamiento de datos temáticos, con un motor de consulta basada en XQuery.

24. Infraestructura de Datos Espaciales de Arqueología: <http://www.idearqueologia.org/>

BIBLIOGRAFÍA

- BERNERS-LEE, T. (1996): *Universal Resource Identifiers - Axioms of Web Architecture*, <http://www.w3.org/DesignIssues/Axioms.html>
- BUSTILLO, M.A., CASTAÑEDA, N., CAPOTE, M., CONSUEGRA, S., CRIADO, C., DÍAZ-DEL-RÍO, P., OROZCO, T., PÉREZ-JIMÉNEZ, J.L. y TERRADAS, X. (2009): "Is the Macroscopic Classification of Flint Useful? A Petroarchaeological Analysis and Characterization of Flint Raw Materials from the Iberian Neolithic Mine of Casa Montero", *Archaeometry* 51(2), pp. 175-196.
- CAPOTE, M., CASTAÑEDA, N., CONSUEGRA, S., CRIADO, C. y DÍAZ-DEL-RÍO, P. (2008): "Flint Mining in Early Neolithic Iberia: A Preliminary Report", *Flint Mining in Prehistoric Europe. Interpreting the Archaeological Records* (Allard, P., Bostyn, F., Giligny, F. y Lech, J., eds.), BAR International Series 1891, Oxford, pp. 123-137.
- CASTAÑEDA, N. (2009): "A Methodological Approach to Core Analysis", *Human Evolution* 24(2), pp. 107-119.
- CASTAÑEDA, N., CAPOTE, M., CRIADO, C., CONSUEGRA, S., DÍAZ-DEL-RÍO, P., TERRADAS, X. y OROZCO, T. (2008): "Las cadenas operativas líticas de la mina de sílex de Casa Montero (Madrid)", *IV Congreso del Neolítico Peninsular (vol. 2)*, (Alicante, 2006), Museo Arqueológico de Alicante, Alicante, pp. 231-234.
- CASTAÑEDA, N. y CRIADO, C. (2006): "La industria lítica de Casa Montero (Vicálvaro, Madrid): resultados preliminares", *Do Epipaleolítico ao Calcolítico na Península Ibérica. Actas do IV Congresso de Arqueologia Peninsular*, (Faro, 2004) (Ferreira, N. y Veríssimo, H. eds.), Universidade do Algarve, Faro, pp. 229-234.
- CHEN, P. (1976): "The Entity-Relationship Model - Toward a Unified View of Data", *ACM Transactions on Database Systems* 1(1), pp. 9-36.
- CONSUEGRA, S., GALLEGU, M. y CASTAÑEDA, N. (2004): "Minería neolítica en Casa Montero (Vicálvaro, Madrid)", *Trabajos de Prehistoria* 61(2), pp. 121-140.
- DE MIGUEL CASTAÑO, A. y PIATTINI VELTHUIS, M.G. (1993): *Concepción y Diseño de Bases de Datos. Del Modelo E/R al Modelo Relacional*, Ra-Ma, Madrid.
- DÍAZ-DEL-RÍO, P., CONSUEGRA, S., CAPDEVILA, E., CAPOTE, M., CASAS, C., CASTAÑEDA, N., CRIADO, C. y NIETO, A. (2010): "The Casa Montero flint mine and the making of Neolithic societies in Iberia", *Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies. Proceedings for the 1st Mining in European History-Conference of the SFB-HIMAT* (Innsbruck, 2009) (Anreiter, P. *et al.*, eds.), Innsbruck University Press, Innsbruck, pp. 351-355.
- DÍAZ-DEL-RÍO, P., CONSUEGRA, S., CAPOTE, M., CASTAÑEDA, N., CRIADO, C., VICENT, J.M., OROZCO, T. y TERRADAS, X. (2008): "Estructura, contexto y cronología de la mina de sílex de Casa Montero (Madrid)", *IV Congreso del Neolítico Peninsular (vol. 1)*, (Alicante, 2006), Museo Arqueológico de Alicante, Alicante, pp. 200-207.
- DÍAZ-DEL-RÍO, P., CONSUEGRA, S., CASTAÑEDA, N., CAPOTE, M., CRIADO, C., BUSTILLO, M.A. y PÉREZ-JIMÉNEZ, J.L. (2006): "The Earliest Flint Mine in Iberia", *Antiquity* 80(307) <http://antiquity.ac.uk/ProjGall/diazdelrio/index.html>
- DÍAZ-DEL-RÍO, P., VICENT, J.M., LÓPEZ-ROMEIRO, E. y DE-LA-TORRE, I. (2007): "Diseño de un muestreo sistemático para la excavación de la mina neolítica de Casa Montero (Madrid)", *Actas de las Segundas Jornadas de Patrimonio Arqueológico en la Comunidad de Madrid*, Comunidad de Madrid, Madrid, pp. 194-200.
- FELTRERO OREJA, R. (2007): *El software libre y la construcción ética de la sociedad del conocimiento*, Icaria, Barcelona.
- FIELDING, R.T. (2000): *Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures*, University of California Press, Irvine (CA), <http://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm>
- FRAGUAS, A. (2008): "The ARANO SDI: A Spatial Data Infrastructure for the Rock Art of Northeast Africa", *Archaeological Computing Newsletter* 68, pp.1-8.
- FRAGUAS, A., MENCHERO, A., URIARTE, A., CONSUEGRA, S., DÍAZ-DEL-RÍO, P. y VICENT, J.M. (2008): "Patrimonio Arqueológico e Infraestructuras de Datos Espaciales: la IDE de Casa Montero", *Actas de las V Jornadas de la Infraestructura de Datos Espaciales de*

- España JIDEE2008. IDE, aplicaciones al planeamiento y la gestión del territorio* (Tenerife, 2008), Cartográfica de Canarias, S.A., Tenerife, <http://www.orzancongres.com/ideart/068.pdf>
- FRAGUAS, A., MENCHERO, A., URIARTE, A., VICENT, J.M., CONSUEGRA, S., DÍAZ-DEL-RÍO, P., CASTAÑEDA, N., CRIADO, C., CAPDEVILA, E. y CAPOTE, M. (2009): "Implementación de la IDE del Proyecto Casa Montero", *Actas de las VI Jornadas Técnicas de la Infraestructura de Datos Espaciales de España JIDEE2009* (Murcia, 2009), Ministerio de Fomento y Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio de la Región de Murcia, Murcia, <http://orzancongres.com/JIDEE09/34.pdf>
- FRAGUAS, A., MENCHERO, A., URIARTE, A., VICENT, J.M., CONSUEGRA, S., DÍAZ-DEL-RÍO, P., CASTAÑEDA, N., CRIADO, C., CAPDEVILA, E. y CAPOTE, M. (2010a): "SILEX: La Infraestructura de Datos Espaciales del yacimiento arqueológico de Casa Montero", *IV Jornadas de SIG Libre* (Girona, 2010), Universitat de Girona, Girona, <http://www.sigte.udg.edu/jornadassiglibre2010/uploads/Articles/p2.pdf>
- FRAGUAS, A., MENCHERO, A., URIARTE, A., VICENT, J.M., CONSUEGRA, S., DÍAZ-DEL-RÍO, P., CASTAÑEDA, N., CRIADO, C., CAPDEVILA, E. y CAPOTE, M. (2010b): "Spatial Data Infrastructures and archaeological excavation data: SILEX, the SDI of the Neolithic flint mine of Casa Montero (Madrid, Spain)", en *Fusion of Cultures. Abstracts of the XXXVIII Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, CAA 2010* (Granada, 2010) (Melero, F.J., Cano, P. y Revelles, J., eds.), Granada, pp. 63-66.
- GOGOLLA, M. (1994): *An Extended Entity-Relationship Model: Fundamentals and Pragmatics*, Springer-Verlag, Berlín.
- HARRIS, E.C. (1991): *Principios de estratigrafía arqueológica*, Crítica, Barcelona.
- HARTMANN, S. (2003): "Reasoning about participation constraints and Chen's constraints", *Proceedings of the 14th Australasian Database Conference – Volume 17*, Australian Computer Society, Adelaida, pp. 105-113.
- LOBO, A.: "Del Open Source a la Open Science", *IV Jornadas SIG Libre* (Girona, 10-12 marzo 2010), <http://www.sigte.udg.edu/jornadassiglibre2010/uploads/Presentacions/Ponencies/ponencial.pdf>
- LUCCHI, R., MILLOT, M., y ELFERS, C. (2008): "Resource Oriented Architecture and REST. Assessment of impact and advantages on INSPIRE", http://inspire.jrc.ec.europa.eu/reports/ImplementingRules/network/Resource_orientated_architecture_and_REST.pdf
- MORA, R., MARTÍNEZ, J. y TERRADAS, X. (1992): "Un Proyecto de Análisis: El Sistema Lógico Analítico (SLA)", *Tecnología y Cadenas Operativas Líticas* (Mora, R., Terradas, X., Parpal, A. y Plana, C., eds.), Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra, pp. 173-199.
- RICHARDSON, L. y RUBY, S. (2007): *RESTful Web Services*, O'Reilly, Sebastopol (CA).
- THELIN, J.A (2003): "Comparison of Service-oriented, Resource-oriented, and Object-oriented Architecture Styles", <http://www.thearchitect.co.uk/presentations/arch-styles/3-arch-styles.pdf>
- WALSH, J. (2010): "Free Software Model for Open Knowledge", *IV Jornadas SIG Libre* (Girona, 10-12 marzo 2010), http://prezi.com/f8k9_9rnslap/a-free-software-model-for-open-knowledge/

