

Una experiencia piloto de transferencia a soporte SIG del inventario de yacimientos arqueológicos de Andalucía

Amores, F. García, L. Hurtado, V. Márquez, H. Rodríguez-Bobada, C.

Departamento de Prehistoria y Arqueología
Universidad de Sevilla

La creación de inventarios sistemáticos de yacimientos arqueológicos como un medio para la gestión y protección del Patrimonio Histórico ha comenzado a desarrollarse en España muy recientemente. A pesar de que la nueva estructura administrativa nacida de la consolidación del Estado de las Autonomías ha producido un panorama relativamente diverso de modelos legislativos y estrategias de gestión arqueológica, parece incuestionable que uno de los efectos más positivos de la estructura actual de administraciones autónomas ha sido el impulso para la creación y actualización permanente de catálogos sistemáticos de yacimientos arqueológicos que en algunos casos no habían existido previamente (Querol *et alii*, 1995). Algunas publicaciones recientes tratan de las cuestiones y problemas generales que surgen en el proceso de construcción y gestión de estos catálogos regionales de yacimientos arqueológicos (Burillo-Ibáñez, 1991; Burillo, 1992; Antona, 1993; Hernández & Castells, 1993; Espiago *et alii*, 1993; *etc.*), campo del trabajo arqueológico en el que, a diferencia de otros países del Norte de Europa (Cleere, 1984; 1989), España tenía poca o ninguna tradición previa.

Como es bien sabido, en el caso de Andalucía la creación y mantenimiento de un inventario general de yacimientos arqueológicos dió comienzo en 1984, poco después de que el gobierno regional recibiera competencia completa en la administración de los recursos culturales e históricos. Aparte de algunas modificaciones importantes en la estructura de los datos y en la escala cartográfica con la que la información arqueológica ha sido tratada, una característica recurrente de la experiencia metodológica seguida entre 1984 y 1994 ha sido su carácter no informático. En otras palabras, el volumen de datos que se ha producido progresivamente en dicho decenio (un período de intensa actividad en trabajo de campo, tanto de prospecciones como de excavaciones arqueológicas) se ha almacenado, procesado y recuperado de acuerdo a un sistema

tradicional de fichas. Este enfoque contrasta con la política de gestión de datos seguida por la Agencia de Medio Ambiente, ampliamente basada en Sistemas de Información Geográfica y de Gestión de Bases de Datos (Rosa & Moreira, 1987; Barragán & Moreira, 1990; Moreira & Fernández, 1995).

La necesidad de una renovación profunda de la base metodológica en la que el creciente volumen de datos arqueológicos (*e históricos*, en sentido más amplio) es gestionado por la administración andaluza ha comenzado recientemente a ser objeto de discusión pública (Ladrón de Guevara, 1994; 1996; Molina *et alii*, 1996; Giménez de Azcárate, 1996), y además durante los dos últimos años se han generado dos entornos informáticos para el tratamiento del registro de excavaciones por una parte, y del inventario de yacimientos por otra.

Esta discusión relativa a las nuevas estrategias de almacenamiento y proceso de cantidades masivas de datos arqueológicos con soporte informático es el punto de partida de un proyecto de investigación desarrollado en el Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla, cuyo propósito principal es contribuir en el proceso de aplicación y diseño de soportes informáticos más eficaces para el tratamiento de los datos arqueológicos. Más específicamente, tal proyecto se ha centrado en la aplicación experimental de los Sistemas de Información Geográfica a la gestión del inventario andaluz de yacimientos arqueológicos.

Dada su naturaleza esencialmente integradora, que comprende instrumentos para el almacenamiento, manipulación, análisis, visualización e intercambio de datos georeferenciados, los Sistemas de Información Geográfica han sido rápidamente asumidos como un instrumento metodológico fundamental, no sólo para el análisis arqueológico de sociedades del pasado, sino también para la esfera más práctica de la gestión del patrimonio arqueológico (Kvamme, 1989; Allen *et alii*, 1990; Lock & Stancic, 1995; *etc.*). Desde el punto de vista de este proyecto de investigación, la elección de un SIG como Arc-Info (ESRI, 1992) como el entorno informático apropiado para probar alternativas metodológicas futuras en la administración de los archivos arqueológicos de Andalucía, se explica por tres razones fundamentales:

- Alto nivel de ejecución en la entrada, procesamiento, recuperación e intercambio de datos.

Este artículo es una versión en español, parcialmente modificada, de una comunicación presentada por los autores con el título "An exploratory GIS approach to the Andalusian Archaeological Heritage Records" en la XXIV Conferencia *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology* celebrada en Iasi (Rumanía) del 25 al 27 de Marzo de 1996.

- Alto grado de integración entre herramientas de análisis cuantitativo, CAD y de gestión de bases de datos.
- Alto grado de compatibilidad con los sistemas de información actualmente utilizados por las principales instituciones de la región relacionadas con la gestión de información espacialmente referenciada.

Este proyecto, todavía en una fase preliminar de desarrollo y en curso, se ha enfocado hacia dos contextos territoriales diferentes pero complementarios, que conllevan problemas arqueológicos distintos. Por un lado, está orientado a una vasta área rural (Sierra de Huelva) adecuada para dos experimentos metodológicos diferentes. En primer lugar, se considera un caso de estudio adecuado para probar los problemas de la conversión masiva de información sobre yacimientos arqueológicos a un formato SIG, incluyendo fuentes de datos diversas así como varios tipos distintos de yacimientos; es también un área adecuada para probar el grado de desfase entre el inventario administrativo de yacimientos y el registro arqueológico *real*, por ser un área donde se han realizado recientemente prospecciones arqueológicas intensivas. En segundo lugar, la configuración socio-económica específicamente rural del área de la Sierra de Huelva, y consecuentemente las formas predominantes de uso de suelo (que son –por este orden– uso forestal, explotación de dehesa, agricultura no intensiva y minería) sugieren un conjunto de actividades de riesgo potencial que afectan al registro arqueológico. Un entorno SIG en sí mismo permite dirigir la atención a temas cartográficos más específicos, definiendo también algunas prioridades en la información geográfica que se va a recoger y analizar.

un intenso proceso constructivo, afectando seriamente al registro arqueológico de la ciudad protohistórica, romana, medieval (islámica y cristiana) y moderna (*postmedieval*). En este caso, la experiencia SIG contempla las principales variables relativas a la información arqueológica de cada parcela urbana, como son el grado de preservación de la estratigrafía del solar (estimada u observada), la información obtenida de intervenciones arqueológicas y el estatus legal del mismo.

Estos dos casos empíricos conllevan problemas bastante diferentes de procesamiento de datos y pueden considerarse como altamente representativos de las dos esferas de trabajo más comunes en la administración contemporánea de la información arqueológica: la rural y la urbana. Comportan escalas de análisis cartográfico completamente diferentes (1:400.000 en el primer caso y 1:500 en el segundo), lo que, desde el punto de vista de la denominada *Arqueología Espacial* remite a las diferentes implicaciones metodológicas que conllevan los niveles de análisis macro (inter-site) y semi-micro (*intra-site*) (Clarke, 1977). También requieren dos unidades diferentes para la estructuración de los datos, dado que, mientras en el primer caso las variables van asociadas a yacimientos arqueológicos individuales, en el segundo están referidas a parcelas urbanas contemporáneas conformados sobre un asentamiento humano único habitado en un amplio lapso temporal.

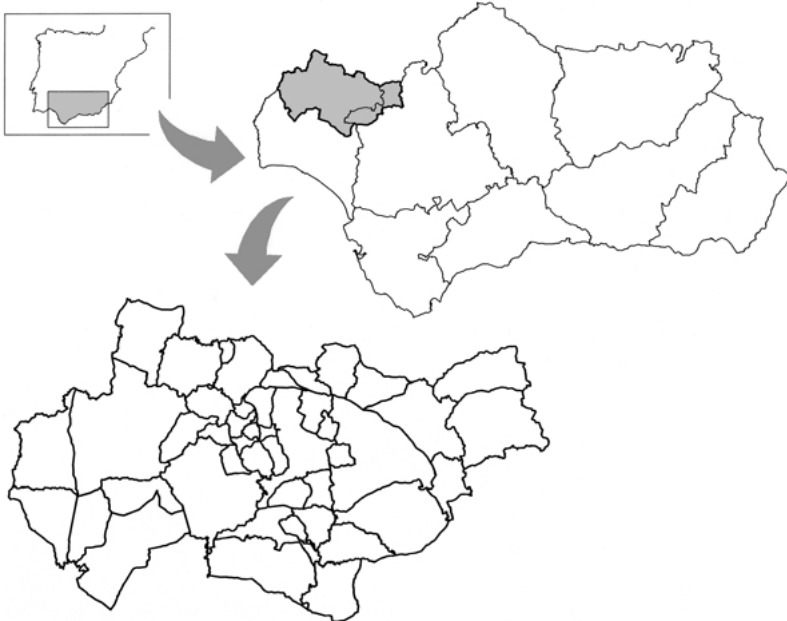
Dadas las limitaciones de espacio, este breve artículo se refiere únicamente a la primera de las esferas de aplicación empírica del proyecto de investigación antes citado (Fig.1). Asimismo, es preciso insistir de antemano en que se trata básicamente de una experiencia de orden práctico, centrada, primero, en la detección y resolución de problemas asociados a la implementación de entornos más eficaces y potentes de gestión de datos arqueológicos, y, segundo, en la consulta y visualización automática de la información.

Entrada de datos

La evolución de los sistemas administrativos andaluces de registro de los yacimientos arqueológicos ha deparado en la actualidad una situación en la cual una gran mayoría de los mismos son tratados como puntos en la cartografía a escala 1:50.000 del Servicio Geográfico del Ejército, mientras que una minoría es tratada como polígonos en la cartografía a escala 1:10.000 producida por la administración autonómica.

Sin entrar en los problemas generales derivados del predominio del primero de ellos, en lo que concierne a los requerimientos cartográficos del SIG, ambos sistemas de registro implican tratamientos bastante diferentes. Mientras que la minoría de yacimientos ya identificados en la cartografía 1:10.000 están situados a un nivel de precisión de un metro y sus coordenadas UTM no necesitan manipulación previa para su entrada, la gran mayoría que están identificados a escala 1:50.000 necesitan una transformación preliminar de las coordenadas. Ello constituye el **primer**

Fig. 1



Por otro lado, está enfocado a un área urbana más restringida donde, a diferencia del caso anterior, hay un alto grado de actividad constructiva y, consecuentemente, de intervenciones arqueológicas. El centro histórico de Sevilla ha sufrido en las últimas décadas

problema cartográfico a resolver antes de la entrada de los datos de cualquier yacimiento arqueológico en un entorno SIG. Esta transformación consiste básicamente en el cambio del sistema de referencia de la cuadrícula militar (CUTM) al sistema de referencia cartésiano convencional (UTM). El sistema CUTM es un formato de designación de puntos puramente convencional que no modifica la proyección usada. De este modo, las coordenadas de un yacimiento son designadas por una cadena de caracteres y números que, una vez descompuesta, proporciona una indicación del huso, el cuadrado de 100 Km² donde se sitúa el yacimiento y las coordenadas rectangulares referidas a la esquina SW del cuadrado con tanta precisión como sea posible (como ya se ha mencionado, en el caso en cuestión la precisión es sólo de un hectómetro).

Por ejemplo, si tomamos el caso de un yacimiento de la Edad del Bronce llamado Cerro de la Alcornocosa (Fig. 3), localizado en el área de la Sierra de Huelva, encontramos un caso típico de necesidad de transformación de coordenadas previa a la introducción de datos en el SIG. La localización de este yacimiento está registrada por la administración andaluza como CUTM 29SPC906277, lo cual puede descomponerse como se indica a continuación:

- Los dos primeros dígitos (29) identifican el huso UTM.
- El siguiente carácter (S) designa la zona militar correspondiente en la cuadrícula CUTM.
- El siguiente par de caracteres (PC) designa uno de los cuadrados de 100 Km² en que se divide la zona S.
- Los seis dígitos siguientes se refieren a las coordenadas rectangulares X e Y dentro del cuadrado PC, con un nivel de precisión de un hectómetro.

El procedimiento para transformar este sistema de designación al sistema cartésiano (UTM) supone que, en primer lugar, deben identificarse el huso y la zona militar, lo cual se puede hacer observando la tabla siguiente:

FIRST CHARACTER OF THE ZONE									
Zone	Hundreds Km from X								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3+1	A	B	C	D	E	F	G	H	
3+2	J	K	L	M	N	P	Q	R	
3	S	T	U	V	W	X	Y	Z	

SECOND CHARACTER OF THE ZONE		
Zone (parity)	Thousand Km from Y (parity)	Hundred Km from Y
		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
2+1	2	A B C D E F G H J K
2		F G H J K L M N P Q
2+1	2+1	L M N P Q R S T U V
2		R S T U V A B C D E

Las coordenadas en cuestión caen entre los 32° y 40° de latitud Norte, por lo que $3.500.000 < Y < 4.500.000$.

En segundo lugar, hay que identificar el cuadrado de 100Km², lo que a su vez requiere el uso de la tabla mostrada en la Fig.2a. El procedimiento es como sigue:

- Para el eje de la X, se debe identificar el huso, que en este caso es el 29, y después buscar el múltiplo de 3 más cercano a él (27): $27 + 2 =$ múltiplo de $3 + 2 = 29$. Se escoge la fila marcada como múltiplo de $3 + 2$. Entonces, dado que $6 < P < 7$, se toma como los 100Km el menor de ambos números (6). Por lo tanto, la coordenada X con un nivel de precisión de un hectómetro sería $X = 6906$, lo que expresado en metros es $X = 690600$ m.
- De forma similar, para el eje de la Y, el huso 29 puede considerarse múltiplo de $2 + 1$; 4 es igual a múltiplo de 2 (el cuadrado PC tiene la $Y > 4.000.000$). Como $2 < C < 3$, la centena de Km es igual a 2, con lo que la coordenada Y es 42277 (con un margen de error de 100 metros), o sea, 4227700 expresado en metros.

Fig. 2a. CUADRICULACIÓN UTM DE ANDALUCÍA

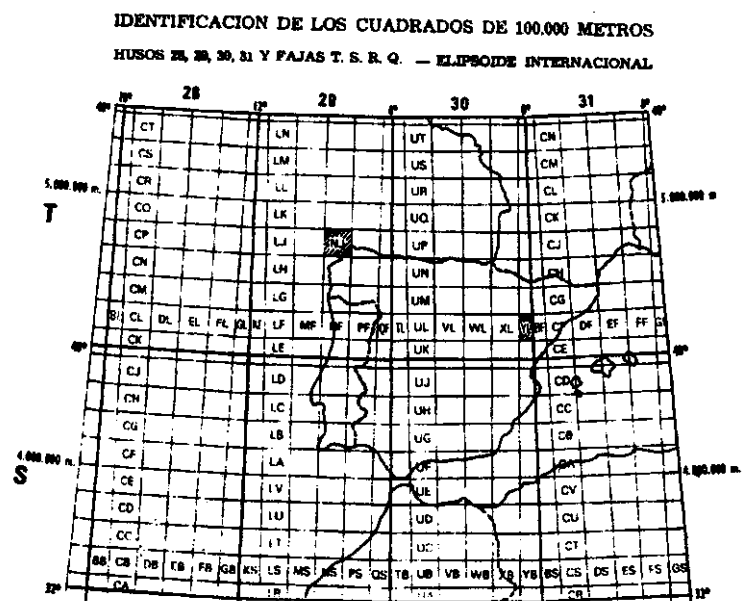


Fig. 2b. CAMBIO DE HUSO

Finalmente, la coordenada inicial CUTM 29SPC906277 ha sido transformada en un par de coordenadas UTM compuestas por seis y siete enteros (en este caso 690600,4227700), ya adecuadas para su entrada como una cobertura Arc-Info.

El **segundo problema cartográfico** asociado a la transformación preliminar de las coordenadas de los yacimientos deriva de la necesidad de convertir coordenadas geográficas, expresadas en grados, minutos y segundos, en coordenadas cartesianas UTM expresadas en metros. Esto es necesario para que el sistema de referencia espacial del estudio sea totalmente compatible con el seguido por la administración. En realidad, este segundo problema cartográfico podría dividirse en dos problemas mutuamente relacionados.

En primer lugar, en algunos casos en los que la información no procede de los ficheros de la administración sino de la bibliografía, las coordenadas de los yacimientos

arqueológicos han sido dadas bajo el formato de coordenadas geográficas y referidas al elipsoide Struve en vez de al elipsoide Hayford, más actualizado. Se hacía necesaria la conversión de estas viejas coordenadas al elipsoide Hayford antes de que estos puntos pudieran ser transformados, a su vez, al sistema UTM.

En el caso de estudio tratado aquí, sólo se identificó este problema para tres yacimientos arqueológicos (ver Fig.3, *La Corteganesa, Llanos de la Belleza y Monteperro I*) de un total de 547 localizaciones, por lo que se puede afirmar que este problema representa una proporción bastante pequeña del trabajo preliminar llevado a cabo con los datos usados en este proyecto. No obstante, podría ser de interés una breve descripción del procedimiento seguido para la conversión de estas coordenadas.

El cálculo para el cambio de elipsoide de Struve a Hayford para las coordenadas de estos yacimientos se ha realizado manualmente y usando dos métodos. El primer método se basa en las curvas isoresiduales suministradas por el Servicio Geográfico del Ejército, donde se pueden observar las correcciones en segundos que se deben hacer para la latitud y la longitud. El segundo se basa en las fórmulas de transformación dadas por F. Martín (1990). El sistema de referencia de partida en este caso es:

- Origen: intersección entre el meridiano de Madrid y el paralelo 40° latitud Norte.
- Latitud: transformada del meridiano de Madrid.
- Longitud: tangente al paralelo 40° en el origen.

El sistema de referencia al que hay que llegar es:

- Origen: intersección entre el meridiano central de cada huso y el Ecuador.
- Latitud: transformada del meridiano respectivo.
- Longitud: transformada del Ecuador.

Siendo la fórmula,

$$c''_l = 2.9368989 + 0.0021600 * M^{\circ} + 0.0727200 * L^{\circ} - 0.0000179 * h + dl$$

$$c''_r = 6.2280987 - 0.0327600 * M^{\circ} - 0.0392400 * L^{\circ} + 0.0000284 * h$$

donde c''_l y c''_r son las correcciones en segundos, M° y L° son la longitud y latitud anteriores (Struve), h es la altura del punto en cuestión y dl es la diferencia de longitud entre Madrid y Greenwich, que en este caso es $3^{\circ}, 6879167 = 3^{\circ} 41' 16",5$.

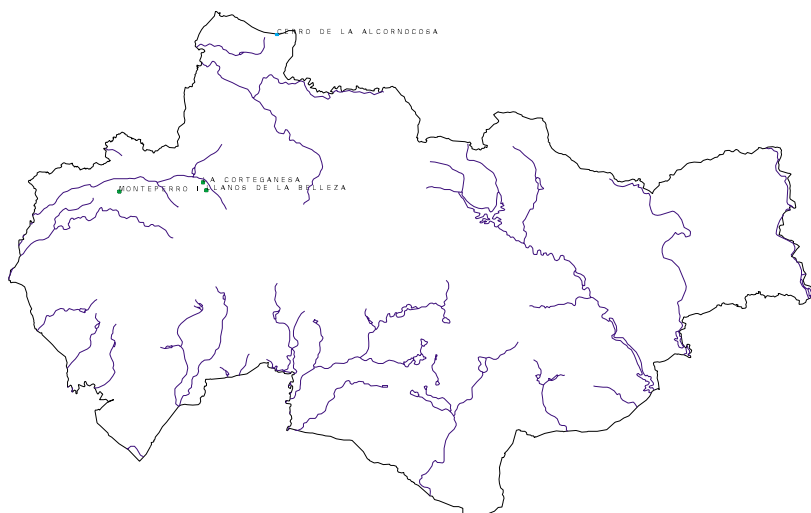
El resultado de este proceso fue el siguiente:

	STRUVE		HAYFORD	
LA CORTEGANESA	3°17'10"	37°58'58"	6°58'20",79	37°59'02",62
MONTEPERRO	3°25'20"	37°58'10"	7°06'30",8	37°58'14",62
LLANOS DE LA BELLEZA	3°19'50"	37°57'20"	7°	37°57'24",62

Las correcciones realizadas son de 4",62 en latitud y 10",8 en longitud, es decir, unos 100 metros en longitud y 270 en latitud.

Una vez obtenido esto, la otra parte del segundo problema cartográfico fue relativamente más simple, ya que se trataba meramente de la transformación de puntos localizados en el elipsoide con coordenadas geodésicas

Fig. 3. YACIMIENTOS MENCIONADOS EN EL TEXTO



Phi (latitud) y Lambda (longitud) a coordenadas planas cartesianas UTM (x,y). Esto se expresa matemáticamente mediante la fórmula siguiente:

$$y = \beta + \frac{(\Delta\lambda)^2}{2} N \cos^2 \varphi t g \varphi + \frac{(\Delta\lambda)^4}{24} N \cos^4 \varphi t g^3 \varphi (5 - t g^2 \varphi + 9 \eta^2 + 4 \eta^4) + \frac{(\Delta\lambda)^6}{720} N \cos^6 \varphi t g^5 \varphi + (61 - 58 t g^2 \varphi + t g^4 \varphi + 270 \eta^2 - 330 t g^2 \varphi \eta^2)$$

$$x = \Delta\lambda N \cos \varphi + \frac{(\Delta\lambda)^3}{6} N \cos^3 \varphi (1 - t g^2 \varphi + \eta^2) + \frac{(\Delta\lambda)^5}{120} N \cos^5 \varphi (5 - 18 t g^2 \varphi + t g^4 \varphi + 14 \eta^2 - 58 t g^2 \varphi \eta^2)$$

donde

$$\beta = a(1 - e^2) \int_{\varphi_2}^{\varphi_1} \frac{1 - e^2 \sin^2 \varphi}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^2} d\varphi$$

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\eta = e' \cos^2 \varphi$$

siendo Phi y Lambda la latitud y longitud del punto.

Como se puede observar, la transformación de las coordenadas depende de los parámetros del elipsoide tomado como referencia para la proyección. Estos parámetros son: primero, el eje mayor del elipsoide (a); segundo, la primera y segunda excentricidad del elipsoide meridiano (e,e'); y tercero, la latitud del punto (Phi).

La infravaloración parcial de la importancia de estos procedimientos para la conversión de coordenadas explicaría algunas confusiones recientes sobre la localización de yacimientos. Estos yacimientos fueron localizados originariamente en mapas que usaban el elipsoide Struve, por lo que para localizarlos en mapas modernos basados en el elipsoide Hayford, es necesaria una transformación previa de las coordenadas geodésicas de un elipsoide al otro. No obstante, existen tablas para realizar este tipo de conversión (Rossignoli, 1976), y de hecho también se puede hacer automáticamente con un SIG como Arc-Info.

Finalmente, el **tercer problema cartográfico** detectado antes de que se pudieran generar las coberturas arqueológicas estaba relacionado una vez más con el sistema de referencia de coordenadas. Dado que el territorio andaluz está dividido entre dos husos UTM (29 y 30), y que, como es bien sabido, cada huso es un plano distinto con su propio sistema de referencia (Fig. 2b), las coordenadas correspondientes a uno de los husos tuvieron que ser transformadas al sistema del otro para poder tratar todo el espacio cubierto por esta investigación como una única unidad cartográfica.

Aunque en este caso la conversión también se llevó a cabo automáticamente con Arc-Info y no fue necesario el cálculo manual, a continuación se ofrece un

ejemplo de la transformación realizada con las coordenadas del sitio de *Cerro de la Alcomocosa* mencionado anteriormente:

- Coordenadas originales:

$$\begin{aligned} X &= 690.600 \\ Y &= 4.227.700 \\ \text{Huso} &= 29 \end{aligned}$$

- Coordenadas transformadas:

$$\begin{aligned} X &= 164.987 \\ Y &= 4.232.378 \\ \text{Huso} &= 30 \end{aligned}$$

- Fórmulas (polinomios de reducción):

$$\begin{aligned} Y &= Y_{1c} + nC - eD \\ X &= x + 500.000 = x_{1c} + nD + eC + 500.000 \\ n &= (Y - Y_c) / 10^5 ; e = (x - x_c) / 10^5 \end{aligned}$$

donde Y_c y X_c son las coordenadas de los múltiplos de los 100Km más cercanos a las coordenadas dadas

$$\begin{aligned} A &= b + nc - ec' \\ B &= b' + nc' + ec \\ C &= a + nA - eB \\ D &= a' + nB + eA \end{aligned}$$

donde y_{1c} , x_{1c} , a, a', b, b', c, c' son los coeficientes tabulados (Rossignoli, 1976:178).

Una vez que los problemas cartográficos preliminares fueron detectados y resueltos, la información contenida en una serie de tablas DBF fue exportada a Arc-Info como dos archivos ASCII, conteniendo el primero el número identificador de cada yacimiento y su par de coordenadas UTM (importadas desde el módulo *Arc*), y el otro el número identificador (ID) más las variables asociadas (importadas desde el módulo *Info*). Con ésto se generaron dos coberturas de yacimientos arqueológicos, una con 547 yacimientos identificados como puntos y otro con 111 yacimientos identificados como polígonos. La cobertura de puntos fue posteriormente dividida en sucesivas coberturas sobre una base cronológica (Neolítico, Edad del Cobre, Edad del Bronce, Edad del Hierro y Roma), de forma que sus modelos de distribución puedan ser tratados y valorados por separado en el futuro.

Fig. 4a. INTENSIDAD DE LAS PROSPECCIONES POR TÉRMINO MUNICIPAL

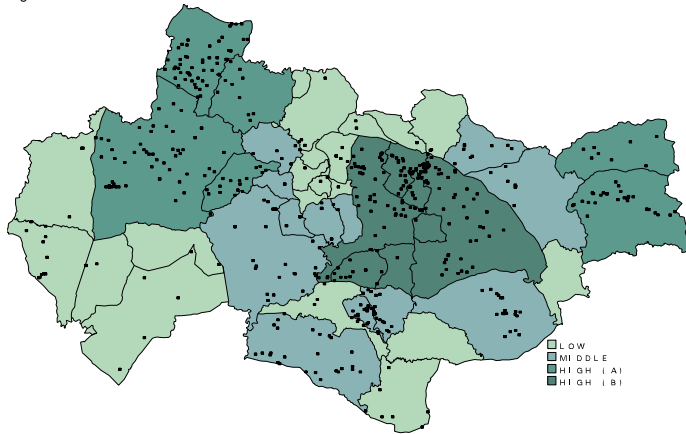


Fig. 4b. INTENSIDAD DE LAS PROSPECCIONES. IDENTIFICACIÓN DE POLÍGONOS ADICUADOS PARA ANÁLISIS ESPACIAL

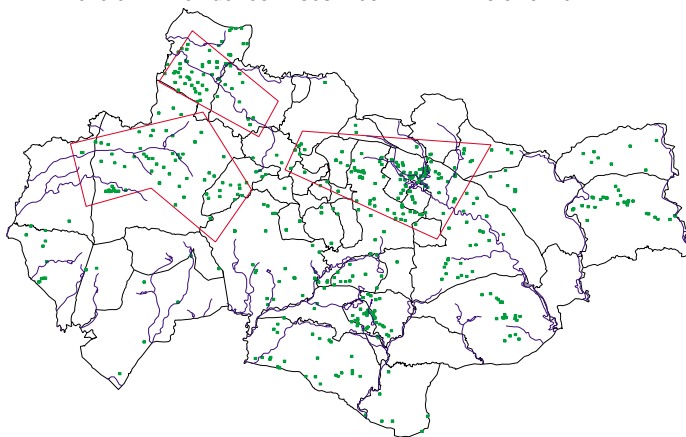


Fig. 5a. PLANEAMIENTO MUNICIPAL

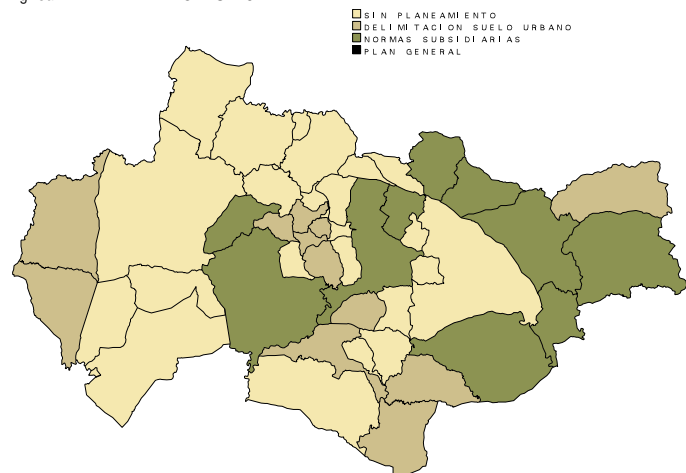
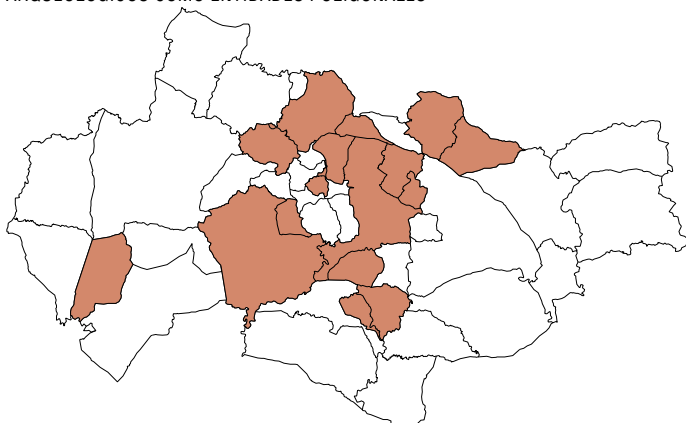


Fig. 5b. MUNICIPIOS AFECTADOS POR REDEFINICIÓN DE LOS YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS COMO ENTIDADES POLIGONALES



Visualización de datos

La cartografía SIG del inventario de yacimientos arqueológicos de la Sierra de Huelva comienza con la observación del grado de correlación existente entre la intensidad de la exploración superficial y el número de localizaciones realmente registradas. Para cada municipio se ha hecho una clasificación básica en cuatro categorías, dependiendo de la intensidad de las prospecciones arqueológicas realizadas dentro de los límites administrativos:

- No prospectado: Todos los yacimientos arqueológicos registrados fueron detectados al azar.
- Prospectado no sistemáticamente: Algún tipo de prospección se realizó en el pasado, pero, o bien no se elaboró una lista sistemática de localizaciones arqueológicas (por ejemplo, las prospecciones estaban orientadas a tipos específicos de yacimientos en términos cronológicos o funcionales), o bien se hicieron mediante una metodología no explícita.
- Prospectado sistemáticamente (A): La metodología y alcance de la prospección era explícita y el inventario de localizaciones incluía todos los tipos cronológicos y funcionales de yacimientos.
- Prospectado sistemáticamente (B): Igual que (A), pero en este caso la prospección se hizo dentro del contexto de un proyecto de investigación sistemática que conllevaba trabajo de campo directo *intra-site* (excavaciones, sondeos, etc.)

Como se observa en la Fig.4 (y como se esperaba), hay un alto grado de correlación entre la intensidad de la prospección y el número de yacimientos registrados. Este mapa se puede valorar de dos formas distintas. Por un lado, las tres áreas donde la escasez de yacimientos arqueológicos está claramente asociada a bajos niveles de exploración en superficie, sugieren que se les debería prestar más atención (quizás preferencia) en el futuro: en este caso, la falta de información en sí misma se convierte en un parámetro de riesgo para el registro arqueológico (Fig.4a). Por otro lado, las áreas de mayor densidad de yacimientos constituyen las únicas sub-áreas adecuadas para el análisis espacial con propósitos interpretativos: cualquier intento de incluir dentro del mismo análisis espacial áreas con niveles de prospección bajo y alto conllevaría inevitablemente una fuerte distorsión producida por la cantidad diferencial de información disponible (Fig.4b).

Otra variable de interés desde la perspectiva de la documentación administrativa del inventario de yacimientos es el tipo de planeamiento urbanístico desarrollado por cada ayuntamiento. La distribución espacial de esta variable (Fig.5a) en la Sierra de Huelva denota una gran predominancia de municipios sin planeamiento urbanístico específico, a la vez que ninguno ha desarrollado el nivel más alto de planeamiento (Plan General). La no inclusión o inclusión incompleta del inventario de yacimientos arqueológicos en la documentación del planeamiento local también se ha detectado como un potencial factor de deterioro (falta de control en el nivel administrativo más bajo) del registro arqueológico, cuando, de hecho, las entidades locales están legalmente obligadas a participar en el control y protección de

los yacimientos arqueológicos y monumentos (Tejedor et alii, 1994). La Fig.5b muestra aquéllos municipios en los que un cierto número de yacimientos han sido ya registrados como entidades poligonales.

Asimismo, se ha realizado otro mapa del área mostrando el grado de desequilibrio entre el número de yacimientos registrados como entidades de polígonos (i.e. registrados con una precisión cartográfica de un metro) y el número de yacimientos registrados, por el contrario, como puntos (i.e. registrados con un margen de error de un hectómetro). Como se puede ver en la Fig.6a, sólo en 10 municipios de un total de 44, más del 50% de los yacimientos arqueológicos han sido ya identificados como polígonos en cartografía a escala 1:10.000. Otro mapa (Fig.6b), en este caso para compararlo con el inventario de yacimientos registrados como puntos, muestra el porcentaje de nuevos yacimientos registrados después de haberse llevado a cabo una prospección sistemática dentro de los límites de algunos de los municipios. Este mapa puede servir como indicador de la frecuencia esperada de yacimientos en los municipios donde el nivel de prospección es bajo.

Por lo que respecta al grado de conservación del registro arqueológico, el uso de suelo es indudablemente una variable esencial. Como se observa en la Fig.7a, una de las principales formas de uso de suelo en la zona sur del área de estudio es la reforestación industrial. La plantación sistemática durante los años 60 de una especie alóctona como el eucalipto en este área trajo consigo el aterrazamiento masivo de colinas, produciendo efectos devastadores en el registro arqueológico. De hecho, es difícil encontrar una concentración significativa de yacimientos arqueológicos en ninguno de los polígonos que representan esta forma de cobertura del suelo (Fig.7b), incluso en las áreas que han sido objeto de prospección superficial sistemática.

Finalmente, también se han elaborado otros mapas predictivos con Arc-Info. La Fig.8a muestra un buffer de un radio de 500 metros alrededor de todas las vías de comunicación principales dentro del área de estudio. Como es bien sabido, un caso típico de intervenciones arqueológicas preventivas se produce por movimientos masivos de tierra debidos a obras de carreteras y ferrocarriles a gran escala. En este caso, y con la información arqueológica disponible, se ha conseguido fácilmente un mapa que muestra los yacimientos potencialmente afectados por cualquier ampliación de vías de comunicación dentro del área de estudio. De forma similar, la existencia de recursos minerales importantes en la Sierra de Huelva constituye una amenaza para el registro arqueológico, debido al gran potencial que tienen estas actividades económicas de producir modificaciones relevantes en la superficie. Puesto que son frecuentes los estudios referidos al impacto de nuevas iniciativas mineras sobre el patrimonio arqueológico, el uso de este tipo de mapas de buffer puede ser de gran ayuda, ahorrando tiempo y reduciendo costes en la etapa preliminar de documentación de los proyectos.

En general, la cartografía SIG de la información arqueológica proporciona una valoración rápida e intuitiva de los vacíos donde la falta de información apunta a la nece-

Fig. 6a. PROPORCIÓN DE YACIMIENTOS DESCRITOS COMO POLÍGONOS

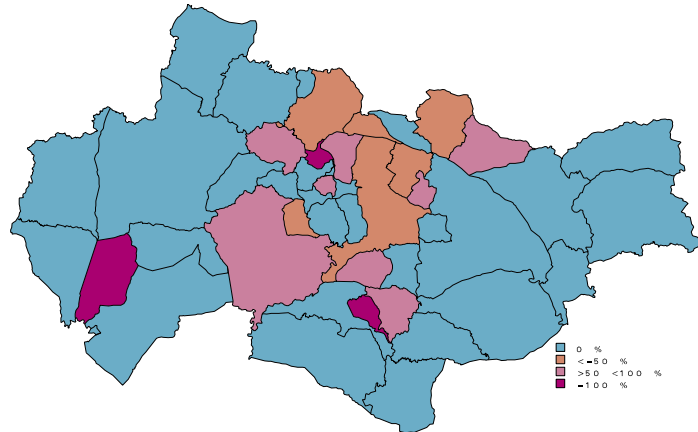


Fig. 6b. PROPORCIÓN DE YACIMIENTOS NUEVOS DESCUBIERTOS TRAS PROSPECCIONES INTENSIVAS

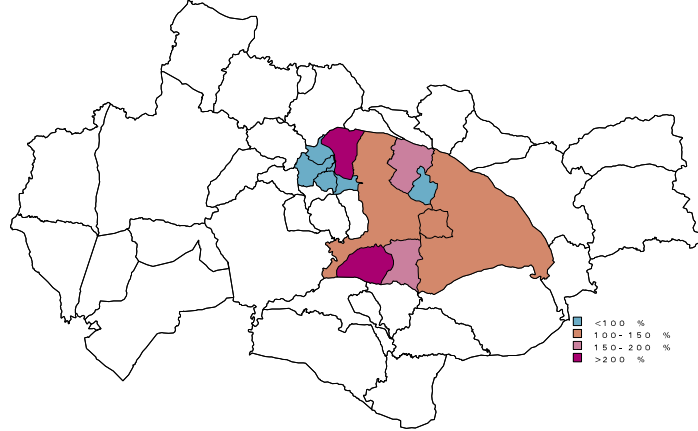


Fig. 7a. USO DEL SUELO VS. DISTRIBUCIÓN DE YACIMIENTOS ARQUEOLÓGICOS

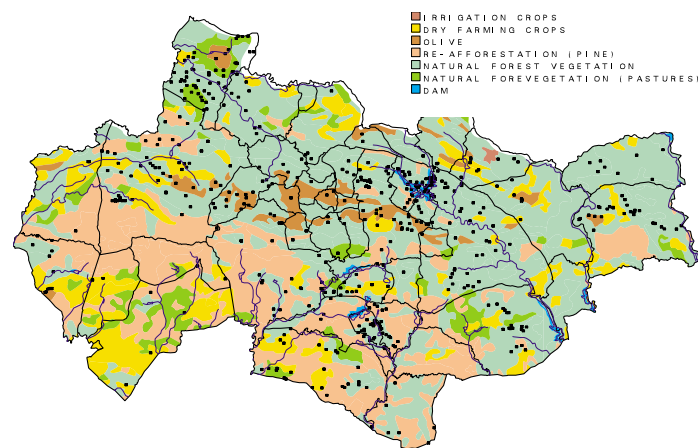


Fig. 7b. IMPACTO DE LAS REFORESTACIONES INDUSTRIALES SOBRE EL REGISTRO ARQUEOLÓGICO

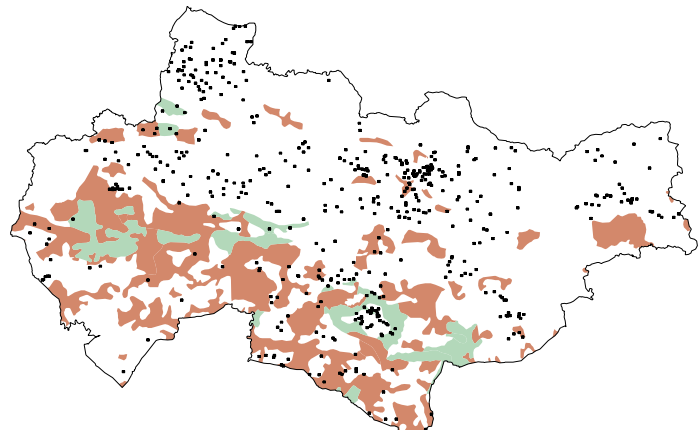


Fig. 8a. EVALUACIÓN DEL REGISTRO POTENCIAL. RED DE COMUNICACIONES

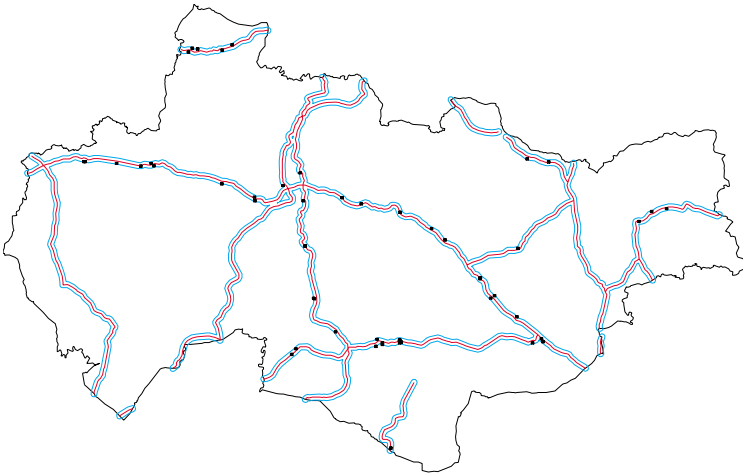
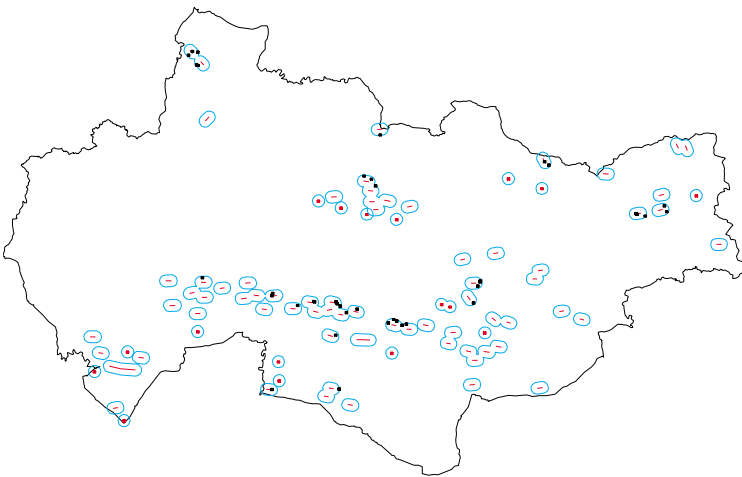


Fig. 8b. EVALUACIÓN DEL RIESGO POTENCIAL. RECURSOS MINEROS



sidad de intervenciones preferenciales futuras. Desde la perspectiva de la gestión de inventarios de yacimientos arqueológicos, esta aproximación es de gran ayuda para detectar visualmente vacíos de información relevantes y para generar rápidas consultas espacialmente referenciadas de las bases de datos. Desde el punto de vista de la gestión de grandes territorios rurales, la conclusión extraída de esta experiencia piloto es que el planeamiento y procesamiento tradicional (no computerizado) de datos arqueológicos puede hacerse más eficiente y económico con el apoyo de un entorno SIG, reforzándose así el espíritu de la Ley de Patrimonio Histórico de Andalucía (expresado en el *Preámbulo*) que exhorta a

los agentes administrativos a detectar los posibles conflictos *antes* de que su resolución comporte situaciones de paralización o bloqueo de obras y proyectos socialmente deseables o necesarias.

El cruce de las coberturas de información medioambiental (uso del suelo, hidrología, edafología, litología, morfología, etc.) generadas por diversas instancias de la Administración Autonómica con las de yacimientos arqueológicos abrirían un vasto y nuevo campo de acción a la gestión del inventario (parece innecesario insistir en su interés desde el punto de vista del análisis arqueológico de las sociedades del *Pasado*), sugiriendo alternativas novedosas a problemas ya existentes a la vez que apuntando y señalando problemas todavía no detectados.

Valoración

El trabajo descrito ha sido extraído de un proyecto de investigación actualmente en curso, cuyo propósito principal es examinar la adecuación de los Sistemas de Información Geográfica para la gestión del patrimonio arqueológico. Ningún trabajo previo se había hecho en este campo en el contexto regional de Andalucía, y por lo tanto, la inversión de tiempo y esfuerzo realizada en este proyecto hasta ahora ha ido dirigida principalmente a la detección y resolución de problemas relativos a la estructura misma de los datos arqueológicos. Las fases de entrada de datos, manipulación y visualización se han cubierto con la ayuda de dos casos de estudio complementarios, uno de los cuales ha sido someramente descrito. La segunda fase del proyecto contempla una más completa explotación de las capacidades analíticas de los Sistemas de Información Geográfica desde el punto de vista cuantitativo.

En el presente, parece que en Andalucía hay una disposición más amplia y sólida entre los arqueólogos profesionales y académicos para recuperar el desfase creado durante la última década entre las metodologías seguidas en la gestión de la información medioambiental y la aplicada en el campo del Patrimonio Arqueológico. La experiencia descrita aquí pretende contribuir a la consolidación de esa disposición, y por supuesto se ofrece como una experiencia para ser compartida con la comunidad regional y nacional de arqueólogos que utilizan Sistemas de Información Geográfica.

Nota

Esta investigación ha sido financiada por la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Andalucía (Plan Andaluz de Investigación, Grupo de Investigación "Sistemas de Información Geográfica y Patrimonio Arqueológico", número 5372). Queremos agradecer a R. Cruz-Auñón, O. Arteaga, E. Vallespí y P. Acosta, miembros del Departamento de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla, su participación en este Grupo de Investigación, así como su ayuda y apoyo. También deseamos mostrar nuestro agradecimiento a la Agencia de Medio Ambiente, que suministró varias coberturas Arc-Info para esta investigación, así como al Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, que amablemente nos dió acceso al inventario de yacimientos arqueológicos localizados en la Sierra de Huelva.

Referencias Bibliográficas

- ALLEN, K. *et alii*
1990: *Interpreting Space. GIS and Archaeology*. London. Taylor and Francis
- ANTONA, V.
1993: *Inventario y protección del Patrimonio Arqueológico en la Comunidad de Madrid*. En JIMENO, A.-VAL, J.M.-FERNANDEZ, J.J. (eds): *Inventarios y Cartas arqueológicas*. Valladolid. Junta de Castilla y León
- BARRAGAN, J.A. - MOREIRA, J.M.
1990: *SinambA. Sistema de Información Ambiental de Andalucía*. Sevilla. AMA
- BURILLO, F. (Dir.)
1992: *Carta Arqueológica de Aragón*. Zaragoza. Diputación General de Aragón
- BURILLO, F. - IBAÑEZ, J.
1991: *Configuración de la Base de Datos y Ficha Informatizada del Proyecto Carta Arqueológica de Aragón 1990*. Cuadernos del Instituto Aragonés de Arqueología I. Teruel
- CLARKE, D.L.
1977: *Spatial Information in Archaeology*. En CLARKE, D.L. (ed): *Spatial Archaeology*. London. Academic Press
- CLEERE, H. (ed)
1984: *Approaches to the Archaeological Heritage. A Comparative Study of World Cultural Resource Management Systems*. Cambridge. Cambridge University Press
1989: *Archaeological Heritage Management in the Modern World*. London. Unwin Hyman
- ESPIAGO, J. - BLASCO, C. - BAENA, J.
1993: Los SIG en la gestión de los datos arqueológicos: el ejemplo de la aplicación desarrollada en la comunidad de Madrid. *Boletín informativo de la Asociación Española de Sistemas de Información Geográfica y Territorial*. Madrid
- ESRI
1992: *Understanding GIS. The Arc-Info Method*. ESRI
- GIMENEZ DE AZCARATE, F.
1996: Los Sistemas de Información Geográfica aplicados al Patrimonio. El SinambA: una aplicación medio ambiental. *En Catalogación del Patrimonio Histórico*. Sevilla. Junta de Andalucía
- HERNÁNDEZ, G. & CASTELLS, J.
1993: Banco de datos e informatización del inventario del Patrimonio Arqueológico de Cataluña. En JIMENO, A. - VAL, J.M. - FERNANDEZ, J.J. (eds): *Inventarios y Cartas Arqueológicas*. Valladolid. Junta de Castilla y León
- KVAMME, K.L.
1989: *Geographic Information Systems in Regional Archaeological Research and Data Management*. En *Archaeological Method and Theory* vol. I. Tucson. The University of Arizona Press
- LADRÓN DE GUEVARA, M.C.
1994: "Hacia un Sistema de Información del Patrimonio Histórico." *In Patrimonio y Ciudad. Reflexión sobre Centros Históricos*. Córdoba. Junta de Andalucía
1996: "Experiencias del Centro de Documentación: el Sistema de Información del Patrimonio Histórico (SIPHA)." *En Catalogación del Patrimonio Histórico*. Sevilla. Junta de Andalucía
- LOCK, G.-STANCIC, Z. (Eds.)
1995: *Archaeology and Geographical Information Systems: A European Perspective*. London. Taylor & Francis
- MARTÍN, F.
1990: *Geodesia y Cartografía matemática*. Madrid. Paraninfo
- MOLINA, F. & RODRIGUEZ, I. & CONTRERAS, F. & ESQUIVEL, J.A. & PEÑA, J.
1996: "Un Sistema de Información Arqueológica para Andalucía." *En Catalogación del Patrimonio Histórico*. Sevilla. Junta de Andalucía
- MOREIRA, J.M. - FERNANDEZ, F.
1995: *Sistema de Información Ambiental de Andalucía. Nuevas tecnologías de la información para un mejor conocimiento y gestión del Medio Ambiente*. Sevilla. Junta de Andalucía
- QUEROL, A. & MARTINEZ-NAVARRETE, M.I. & HERNÁNDEZ, F. & CERDEÑO, L. & ANTONA, V.
1995: "The value of archaeological heritage: an analysis by the Professional Association of Spanish Archaeologists (APAE)." *Journal of European Archaeology* Vol. 3.1 Cruithne Press
- ROSA, D.-MOREIRA, J.M.
1987: *Evaluación Ecológica de los Recursos Andalucía*. Sevilla. AMA
- ROSSIGNOLI, J.L.
1976: *Proyección Universal Transversa Mercator*. Madrid. Servicio Geográfico del Ejército
- TEJEDOR, A. & MARTINEZ, L.F. & FERNANDEZ, S.
1994: "Aportaciones al Sistema de Información del Patrimonio Histórico Andaluz: Arcos de la Frontera." *Boletín Informativo* vol 9. Sevilla. Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico