

# Bases conceptuales y metodológicas de los modelos predictivos en Arqueología

Silvia Fernández Cacho, Centro de Documentación y Estudios del IAPH

Este capítulo se dedica a aspectos conceptuales y metodológicos generales sobre predicción arqueológica. Su punto de partida es una definición genérica de modelo predictivo para seguidamente establecer un enfoque concreto sobre lo "arqueológico". Estos modelos no tratan de predecir comportamientos o supuestos futuros -como ocurre en otras ciencias experimentales-, sino completar un puzzle que se diseñó en el pasado y del que todavía faltan piezas para visualizar el "mapa completo" del territorio. En este debate -predicción y Arqueología-, se abordan algunos de los aspectos epistemológicos más vivos de la ciencia arqueológica de los últimos años, tales como el estudio de los factores locacionales de los asentamientos humanos -el uso y tratamiento de variables medioambientales y culturales-, o las distintas aproximaciones -deductiva e inductiva- como bases generadoras de conocimiento. Se concluye con un apartado dedicado a una selección de experiencias internacionales desarrolladas con modelos predictivos, según objetivos y escalas territoriales de aplicación.

## CONCEPTUAL AND METHODOLOGICAL BASIS FOR PREDICTIVE MODELS IN ARCHAEOLOGY

This chapter is devoted to the general conceptual and methodological aspects of archaeological prediction. It begins with a generic definition of the predictive model and goes on to establish a specific approach to the "archaeological". These models do not attempt to predict future behaviours or scenarios- as is the case in other experimental sciences- but instead, they endeavour to complete a puzzle designed in the past that needs further work to reveal the "complete map." In discussing prediction and archaeology, the chapter addresses some of the key epistemological aspects of archaeological science in recent years, such as the study of the factors involved in the location of human settlements- the use and management of environmental and cultural variables- or the different approaches- deductive and inductive- such as base knowledge generators. The chapter concludes with a selection of international experience gained with predictive models arranged by objective and application scale.

## ¿QUÉ ES UN MODELO PREDICTIVO?

Un modelo predictivo podría definirse como una representación matemática de un aspecto de la realidad que permite predecir comportamientos futuros en función del conocimiento presente. Por ejemplo, una vez conocidos los parámetros que influyen en el desarrollo de una determinada enfermedad se podría realizar una aproximación fiable sobre las características de las personas que pueden contraerla.

En Arqueología, el modelado predictivo se ha definido como "una técnica que predice como mínimo la localización de sitios o materiales arqueológicos en una región, basada en el patrón observado en una muestra o en asunciones acerca del conocimiento humano" (KHOLER y PARKER, 1986: 333). Si se conoce el patrón de distribución de los sitios arqueológicos y las variables que influyen en su localización, se podrá inferir que en otros lugares en los que se cumplan las mismas condiciones también existirán sitios arqueológicos.

Dos diferencias fundamentales distinguen el primer ejemplo del segundo:

a) En el primer caso se predice la evolución futura de una determinada variable (la enfermedad), mientras que en el segundo la variable a predecir (la existencia de sitios arqueológicos) se produjo en el pasado, por lo que, en realidad, lo que se predice es su posible descubrimiento en el futuro. Quizás por ello en ocasiones es preferible referirse a modelos de potencial arqueológico o de "sensibilidad", ya que se haría referencia a que hubiese condiciones potenciales para la existencia de sitios arqueológicos, lo cual no asegura en ningún caso que los haya. El objetivo, pues, no es predecir comportamientos futuros sino completar un conjunto de datos que existe pero del que sólo se conoce una parte (VELJANOWSKI y STANČIČ, 2006: 394).

b) En algunas ramas del saber, el establecimiento de modelos predictivos puede proporcionar resultados muy fiables ya que los parámetros analizados son cuantificables y contrastables. En el caso del modelado predictivo en Arqueología, la cuantificación y localización espacial de los parámetros o variables de análisis son muy complejos por lo que los resultados suelen ser orientativos, potenciales, partiendo de la base de que es posible que las localizaciones arqueológicas conocidas en la actualidad puede que no constituyan una muestra significativa de los patrones de asentamiento del pasado (VELJANOVSKI y STANČIČ, 2006: 396).

La base conceptual de un modelo de predicción arqueológica podría resumirse del siguiente modo: los seres humanos habitan y usan unos territorios más intensamente que otros debido a razones objetivas y cuantificables. Conocidas estas razones, es posible evaluar el potencial de ocupación humana de un territorio concreto en el pasado.

Partiendo de esta base y de la generalización del uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en Arqueología a partir de 1980, son muchos los proyectos que han planteado propuestas de elaboración de modelos predictivos y muchas también las críticas que han recibido por entenderse que reducían el comportamiento humano a una serie de parámetros encorsetados en un modelo matemático.

Hay que tener en cuenta, sin embargo, que en la realización de prospecciones arqueológicas también se seleccionan zonas en función del conocimiento adquirido por parte de quienes las realizan. Por ello se elige la prospección de unos territorios frente a otros y, dentro de una zona de estudio, se prospeccionan a veces unas áreas más intensivamente que otras (MOON, 1993: 6). A través de los modelos predictivos esa selección "intuitiva" se objetiva, aunque para áreas reducidas no pueden sustituir, al menos por ahora, la eficacia de las prospecciones intensivas convencionales (CARMICHAEL, 1990).

## **PLANTEAMIENTOS EPISTEMOLÓGICOS**

Como ha quedado apuntado en el apartado anterior, existen dos aspectos asociados a los modelos predictivos en Arqueología (y en cualquier otro ámbito en el que la distribución de las variables de análisis y los resultados obtenidos tengan reflejo espacial): 1) el uso de procedimientos matemáticos para representar la incidencia de variables objetivas y cuantificables que explican, en este caso, la distribución de sitios arqueológicos; y 2) el empleo de Sistemas de Información Geográfica para procesar información espacial.

Ambos aspectos han sido foco principal de las críticas a la aplicación de este tipo de modelos en Arqueología, a pesar de que son ampliamente utilizados en otros ámbitos científicos. Estas críticas podrían concretarse en los aspectos que pasarán a analizarse a continuación.

### **Modelos predictivos, determinismo ambiental y escala de análisis**

En la elaboración de los modelos de predicción arqueológica se emplean fundamentalmente variables de carácter medioambiental, es decir, se supone que las características ambientales del territorio inciden de forma destacada en la elección de determinados lugares para su uso y aprovechamiento por parte de los seres humanos.

Esta hipótesis de partida ha sido muy criticada desde el ámbito de la Arqueología postprocesual al entender que se obvian aspectos culturales y perceptivos involucrados en dicha elección y lleva implícita una sobrevaloración del determinismo ambiental para explicar el comportamiento locacional humano (DORE y WANDSNIDER, 2006: 82). El uso de los SIG incidiría también en esta sobrevaloración de los factores ambientales frente a los culturales, ya que muchos de estos últimos son difícilmente cuantificables y cartografiables (WHEATLEY, 2004; EBERT y SINGER, 2004; VELJANDOVSKI y STANČIĆ, 2006: 395). Además, los datos procesados por los SIG no son asépticos, sino que reflejan una forma de construcción social más adaptada al presente que al pasado (CRIADO, 1993: 14-15; LOCK y HARRIS, 2006: 44).

Sin embargo, la inadecuación del empleo de determinadas variables ambientales en la definición de modelos predictivos está directamente relacionada con la escala crono-espacial de análisis. En periodos históricos más lejanos en el tiempo, el medio físico ha ejercido una mayor influencia en la distribución territorial de los grupos humanos que dependían de él para su subsistencia. Conforme se analizan periodos históricos más próximos en el tiempo, en

los que la tecnología ha permitido una mayor independencia de los factores ambientales, las características físicas del medio han tendido a perder importancia en favor de otras variables más culturales, relacionadas con aspectos geopolíticos, económicos, perceptivos, etc. (CHURCH, BRANDON y BURGETT, 2000; EBERT, 2000; WANSLEEBEN y VERHART, 1997).

Por otra parte, cuando se analizan territorios muy extensos, es decir, la escala espacial de análisis es pequeña, los procesos históricos estudiados suelen ser de más larga duración que en los análisis de áreas más reducidas. A pequeña escala a los fenómenos de larga duración se asocia una mayor incidencia de los factores ambientales.

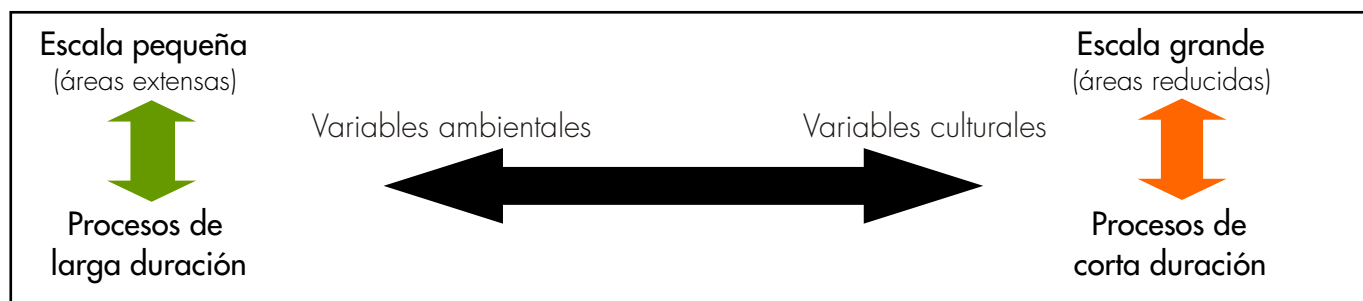


Figura 1. Escalas y variables de análisis. Fuente: Elaboración propia

La falta de adecuación a las escalas de análisis que a veces caracteriza a la investigación arqueológica y la preferencia por el estudio de los procesos de corta duración en áreas reducidas influyen en la idea de que los modelos predictivos obvian importantes aspectos culturales que pueden ser tenidos en cuenta sin el concurso de complejos programas informáticos y elaborados modelos estadísticos.

No es casual que su incorporación a la investigación y gestión arqueológicas haya sido más temprana en Estados Unidos y Canadá. El arraigo de la Arqueología procesual, más cercana al empleo de métodos cuantitativos, y la difícil prospección de amplias zonas boscosas de su territorio, ha favorecido un mayor refinamiento de los métodos y, sobre todo, de su aplicación práctica en la gestión territorial de los recursos arqueológicos. En Europa, su extensión ha sido más tardía y ha estado más influenciada por la Arqueología postprocesual, proponiéndose como alternativa unos modelos en los que la presencia de variables culturales es más acusada para áreas en general más reducidas y con menos incidencia directa en el ámbito de la gestión arqueológica<sup>1</sup> (VAN LEUSEN et ál., 2005: 28 y ss.).

En cualquier caso, los modelos predictivos se han aplicado en zonas de muy variada extensión, desde los poco más de 26 km<sup>2</sup> de Fort Drum en el Estado de Nueva York (EEUU) a los casi 25 000 km<sup>2</sup> de algunas áreas canadienses o los 30 000 km<sup>2</sup> de Brandenburgo en Alemania. Estas diferencias deberían reflejarse en los objetivos de los modelos desarrollados y las variables de análisis empleadas aunque, curiosamente, no se detectan diferencias significativas en los objetivos del análisis ni en las variables seleccionadas a escalas espaciales tan diferentes.

<sup>1</sup> Estas diferentes aproximaciones epistemológicas tienen su reflejo en la contraposición de los conceptos de "espacio" de la Arqueología procesual y "lugar" de la Arqueología postprocesual, entendido como parte de la experiencia humana y con significados diversos a lo largo de la historia (LOCK y HARRIS, 2006: 43-44).

En un territorio a una escala dada, habrá pues que decidir qué variables ambientales y culturales influyen en los patrones de distribución de los sitios arqueológicos para cada periodo histórico analizado (DALLA BONA, 1994 a: 25 y ss.; ROBINSON, 1993: 147 y ss.; WANSLEEBEN y VERHART, 1997; EBERT, 2000; VAN LEUSEN et ál., 2002).

ESCALA ARQUEOLÓGICA / DINÁMICA HISTÓRICA	EXTENSIÓN ESPACIAL	ESCALA CARTOGRÁFICA	EJEMPLO	ORDEN BIOLÓGICO	ORDEN HUMANO	MARCO METODOLÓGICO
SUPER-MACRO / PROCESOS MACRO-ESTRUCTURALES	$\geq 10^7 \text{ km}^2$	$< 1:10.000.000$	Plataformas continentales, Viejo Mundo, océanos	Zona 1.000.000 – 100.000 años	Zona Imperio	ARQUEOMETRÍA ANÁLISIS CUANTITATIVO
	$10^6 \text{ km}^2$	1:5.000.000 1:1.000.000	Dominio herciniano. Península Ibérica	Dominio 1.000.000 – 100.000 años	Dominio País	
MACRO / PROCESOS ESTRUCTURALES Y COYUNTURALES	$10^5 \text{ km}^2$	1:500.000 1:200.000	Meseta Central española Andalucía	Región 100.000 – 10.000 años	Región	ARQUEOMETRÍA ANÁLISIS CUANTITATIVO / DISTRIBUCIÓN ESPACIAL ANÁLISIS CUALITATIVO / PAISAJE (Percepciones sociales)
	$10^4 \text{ km}^2$	1:200.000 1:100.000	Valle del Guadalquivir Sierra Morena occidental		Provincia Parque Natural Comarca	
	$10^3 \text{ km}^2$	1:100.000 1:50.000	Campo de Gibraltar Carmona	Geosistema 10.000 – 1.000 años	Comarca Municipio	
MACRO Y SEMI-MICRO / PROCESOS COYUNTURALES	$10^2 \text{ km}^2$	1:20.000 1:10.000	Sección de un valle, ciudad, lago	Geofacies 1.000 – 100 años	Municipio Sector	
SEMI-MICRO / PROCESOS COYUNTURALES Y ACONTECIMIENTOS	$10 \text{ km}^2$	1:5.000 1:2.000	Una vertiente, un cono de deyección, un asentamiento prehistórico y su entorno inmediato	Geotopo 100 años	Ciudad Hábitat	ANÁLISIS CUANTITATIVO / DISTRIBUCIÓN ESPACIAL ANÁLISIS CUALITATIVO / PAISAJE (Percepciones sociales e individuales)
	$1 \text{ km}^2$	1:2.000 1:1.000	Una vertiente, un asentamiento prehistórico	Biotopo 1 – 10 años	Barrio Hábitat Manzana	
MICRO / ACONTECIMIENTOS	1 ha	1:1.000 1:100	Una tumba, una casa, un inmueble, una parcela agraria		Inmueble Casa Cortijo	ANÁLISIS CUANTITATIVO / ESPACIAL ANÁLISIS CUALITATIVO / PAISAJE (Percepciones individuales)
SUPER - MICRO	En $\mu$	x 100	Texturas litológicas, mantos vegetales y animales	Célula	Artefacto Ecofacto	ARQUEOMETRÍA
	En Å	x 1.000 a 10.000	Texturas mineralógicas. Estructuras atómicas	Molécula	Inclusión (desgrasante), exina	

Tabla 1. Escalas espacio-temporales en el análisis arqueológico. Fuente: Fernández Cacho (2008: 41). Cuadro basado en García Sanjuán (2005: 144), elaborado a su vez a partir de Joly (1979)

Excepto en los casos en los que el objetivo sea puramente metodológico, para la gestión de patrimonio no parece demasiado útil desarrollar estos complejos procedimientos analíticos para delimitar áreas de potencial arqueológico en extensiones territoriales reducidas en las que siempre será más eficaz la realización de prospecciones arqueológicas.

## Aproximaciones inductivas y deductivas

En general, los modelos predictivos se basan en el análisis de la información arqueológica y ambiental disponible. Es decir, se parte del procesamiento de los datos conocidos en algunas áreas para determinar el potencial arqueológico de otras menos o nada conocidas. Este procedimiento tiene un marcado carácter inductivo de forma que, si no se dispone de información fiable, el resultado puede no ajustarse a la realidad.

Una de las principales críticas realizadas a estos modelos se basa precisamente en la escasa fiabilidad de las fuentes de información de partida que, como se analizará en el siguiente apartado, pueden presentar importantes carencias. Además, se critica el excesivo mecanicismo de estos procedimientos, carentes de profundidad teórica y centrados en procedimientos estadísticos estandarizados. Se entiende que "correlación" no es lo mismo que "explicación". Se pueden establecer correlaciones estadísticas entre la localización de los sitios arqueológicos y determinadas variables ambientales pero el resultado no es interpretativo (VAN LEUSEN et ál., 2005: 29; DORE y WANDSNIDER, 2006: 82-83).

Como alternativa se plantea la posibilidad de construir modelos basados en aproximaciones deductivas. Los datos preexistentes sólo servirían para contrastar el modelo final, diseñado en base al conocimiento adquirido a través de la investigación arqueológica, los paralelos etnográficos, etc. (WARREN, 1990a: 90; DALLA BONA, 1994a: 5 y ss.). Un ejemplo que podría ilustrar este mecanismo de "predicción", aunque no comporte la formulación de un modelo matemático, es el que se emplea en muchas prospecciones no intensivas en las que se "intuye", gracias al conocimiento adquirido previamente, dónde es posible que se localicen sitios arqueológicos para prospectar esos lugares con más intensidad que otros.

El principal problema estriba entonces en la imposibilidad de establecer parámetros de medición objetivos o factores de ponderación entre variables basados en cálculos normalizados, ya que dichos valores proceden de una decisión que, aunque se sustenta en el conocimiento adquirido, es subjetiva (KVAMME, 2005: 2). Esta dificultad provoca que, a pesar de que los modelos deductivos aportan un contenido explicativo menos presente en los inductivos, no se hayan desarrollado con tanta profusión (EBERT y SINGER, 2004).

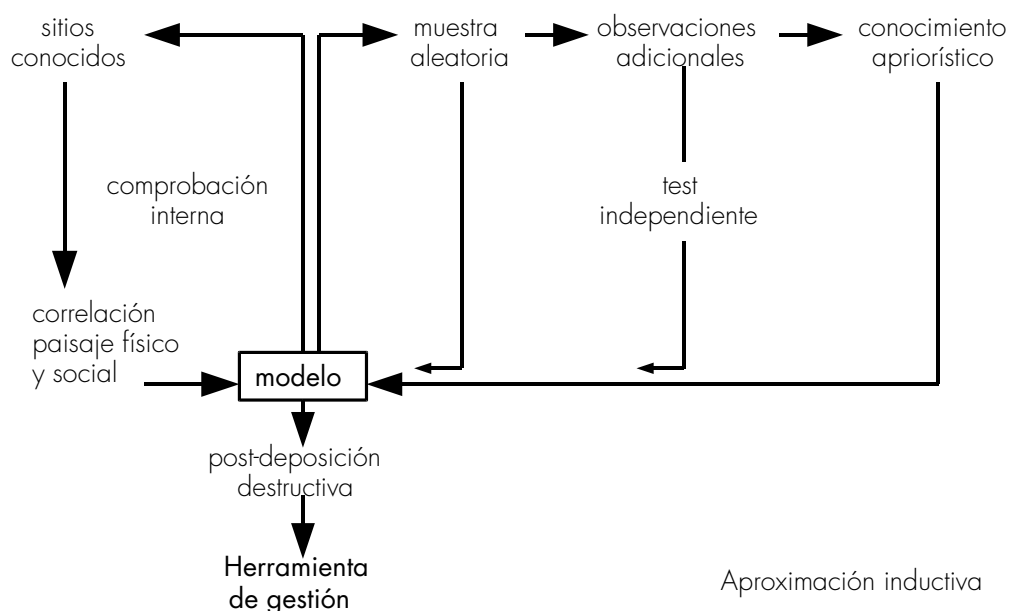


Figura 2. Aproximación inductiva. Esquema metodológico. Fuente: Adaptado de Kamermans y Wansleebe (2001: 228)

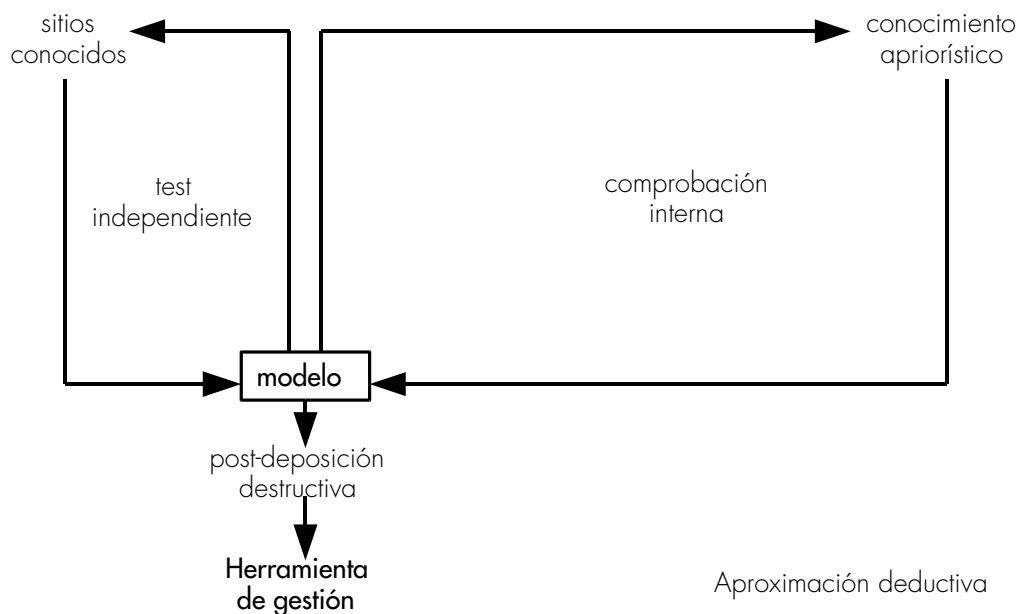


Figura 3. Aproximación deductiva. Esquema metodológico. Fuente: Adaptado de Kamermans y Wansleebe (2001: 228)

En cualquier caso, como señala K. L. Kvamme, incluso las aproximaciones inductivas trascienden las meras correlaciones estadísticas por cuanto "el simple acto de selección de variables para el análisis requiere una perspectiva teórica 'a priori', que proviene de los trabajos previos, la práctica, y la orientación de las corrientes teóricas de la disciplina" (KVAMME, 2006: 12).

Pero también muchos de los modelos basados en procedimientos deductivos se basan en "inducciones informales" (VAN LEUSEN et ál., 2005: 29). Es decir, el conocimiento sobre las pautas del comportamiento locacional humano se basan en el análisis intuitivo de la distribución de los sitios conocidos.

Para conjugar ambas aproximaciones, algunos modelos las combinan dependiendo de la calidad de los datos de partida y de las valoraciones expertas. Es el caso del modelo holandés, IKAW (Mapa Indicativo de Valores Arqueológicos en Holanda), el territorio se dividió en tres arqueo-regiones en función de su evolución geológica. Para una de ellas, la formada durante el pleistoceno y asociada a restos arqueológicos paleolíticos, el método utilizado fue inductivo y cuantitativo, mientras que para las otras dos se construyó el modelo mediante deducciones basadas en el conocimiento del comportamiento espacial de las sociedades humanas. En estas últimas, los sitios arqueológicos conocidos se utilizaron para contrastar los resultados (VAN LEUSEN et ál., 2005: 35 y ss.).

## Las fuentes de información

La disponibilidad y calidad de las fuentes de información necesarias para la construcción de un modelo predictivo en Arqueología son probablemente los aspectos más controvertidos y los que generan los principales problemas de solvencia científica y de inversión de tiempo y recursos económicos.

En primer lugar, hay que concretar qué condiciones pueden influir en la existencia o inexistencia de sitios arqueológicos. Estos últimos serán considerados como variable dependiente, ya que se entenderá que su presencia estará condicionada por otros factores tratados como variables independientes.

### **Variable dependiente**

En síntesis, la mayor parte de los modelos predictivos tratan de generalizar las condiciones (ambientales y culturales) que caracterizan el entorno de los sitios arqueológicos conocidos y extrapolarla a otros lugares en los que no se conoce su existencia pero que poseen condiciones similares (EBERT y SINGER, 2004). El principal problema radica en la fiabilidad de la información arqueológica de partida.

Normalmente esta información procede de los registros o inventarios arqueológicos que no tienen la calidad necesaria para considerarlos como una muestra representativa del conjunto potencialmente existente, aunque esta es una de las asunciones básicas implícitas en los modelos predictivos inductivos (VAN LEUSEN et ál., 2005: 31). Los principales problemas detectados son:

a) Definición de sitio arqueológico. No hay un consenso general a la hora de registrar las entidades arqueológicas en los inventarios. Por diversos motivos, la intención no es necesariamente el registro de sitios arqueológicos entendidos como "una agrupación espacialmente definida y funcionalmente significativa de vestigios materiales de actividades humanas desarrolladas en el Pasado" (GARCÍA SANJUÁN, 2005: 24), sino que también se incluyen otro tipo de entidades (partes de sitios arqueológicos, hallazgos aislados, etc.) cuya adecuación a los fines de este tipo de proyectos hay que analizar antes de su utilización. En Estados Unidos, por ejemplo, mientras en el Estado de Virginia se registra como sitio arqueológico cualquier lugar en el que aparezca al menos un artefacto, en el de Georgia se requieren cinco y en Nuevo Méjico diez de tres tipos diferentes (WHITLEY, 2005: 134). En Holanda, sin embargo, se ha establecido como criterio mínimo la asociación de dos artefactos de distinto tipo (VERHAGEN, 2005: 109).

b) Orientación de la investigación. Los inventarios arqueológicos también reproducen en mayor o menor medida las tendencias de la investigación arqueológica. Estas tendencias no sólo afectan a la distribución del registro arqueológico conocido, sino también a su adscripción crono-funcional.

c) Visibilidad del registro arqueológico. En los resultados de las prospecciones arqueológicas influyen las condiciones de visibilidad del registro arqueológico, que pueden verse mermadas por la existencia de vegetación tupida, dificultades de accesibilidad, tipo de sitio, etc. (DORE y WANDSNIDER, 2006: 79-80). Por otra parte, un porcentaje desconocido de sitios arqueológicos han desaparecido por influencia de factores naturales y, sobre todo, antrópicos. Por lo tanto, algunas zonas pueden poseer condiciones potenciales óptimas para la existencia de localizaciones arqueológicas y, sin embargo, haber desaparecido antes de que hayan sido consignadas en los inventarios.

d) Metodología empleada. Cuando se realizan prospecciones, no siempre se reconoce intensivamente el territorio. En muchas ocasiones, estas prospecciones tienen un carácter selectivo, potenciando el conocimiento de unas áreas respecto a otras o unos periodos históricos o tipologías funcionales determinadas frente a las demás.



e) Errores en el registro de datos. Se han detectado errores en el registro de datos, referidos sobre todo a la localización espacial de los sitios arqueológicos y a la precisión de su adscripción crono-funcional, con el consiguiente riesgo de distorsión de los resultados (CHURCH, BRANDON y BRUGETT, 2000: 14; EBERT, 2000: 132-133; DORE y WANDSNIDER, 2006: 79).

En algunos modelos predictivos se ha tratado de corregir la posible distorsión de los resultados derivados de los problemas expuestos por diversos procedimientos. El más empleado se basa en utilizar exclusivamente la parte de información disponible que procede de fuentes de información fiables. Es este el caso de los modelos de Montana Central (CARMICHAEL, 1990), Mount Trumbull (ALTSCHUL, 1990) y Minnesota (HUDAK et ál., 2002) en EEUU, o el de Tricastin-Valdaine (VERHAGEN y BERGER, 2001) en el valle medio del Ródano en Francia. En otros, se emplean los datos procedentes de prospecciones arqueológicas con metodología controlada como en el de Pensilvania en EEUU (DUNCAN y BECKMAN, 2000) o se realizan prospecciones *ex profeso* en una porción del territorio como en el modelo de Brandenburgo en Alemania (DUCKE y MÜNCH, 2005). En Piñon Canyon (EEUU) se seleccionaron al azar un conjunto de sitios arqueológicos cuya información se comprobó in situ y con los que se realizaron los análisis.

K. L. Wescott propone que, ante la imprecisión inherente a los modelos predictivos, se puede trabajar con el objetivo de minimizar la incertidumbre. Para ello propone un método para su valoración basado en procedimientos estadísticos bayesianos, que plantea la adaptación del modelo a los nuevos datos disponibles e, incluso, a nuevas aproximaciones metodológicas. Si una zona está prospectada y se conoce un alto número de sitios arqueológicos la incertidumbre del resultado será menor, por ejemplo, que en otro área no prospectada. También tendría un nivel de incertidumbre bajo (aunque no tanto como el caso anterior) una zona de bajo potencial que ha sido prospectada y donde no se conocen sitios arqueológicos. En este último caso, la falta de conocimiento puede deberse a la propia inexistencia de sitios o, en determinados contextos, a la falta de visibilidad de los materiales arqueológicos. La estrategia que se plantea es la de priorizar la investigación en zonas de alta incertidumbre para ir afinando el ajuste del modelo sobre bases progresivamente más sólidas (WESCOTT, 2006).

La mayor o menor calidad de la información arqueológica de partida condiciona el objetivo final del modelo y, sobre todo, la precisión del resultado. Los errores pueden afectar a la localización de los sitios y, con ello, producir alteraciones en cadena del resto de valores de las variables independientes asociados a un lugar equivocado. En otros casos, el error procede de la adscripción crono-funcional, lo que ha provocado en ocasiones que el modelo no distinga distribuciones de potencial arqueológico según periodos históricos y/o tipologías funcionales, sino que se centre en determinar las zonas donde es más probable que existan sitios arqueológicos sin discriminación alguna (CARMICHEL, 1990; WESCOTT y KUIPER, 2000; VAN LEUSEN et ál., 2005: 31 y ss.). En cualquier caso, conocido el tipo de error que puede afectar a los datos arqueológicos de partida, es recomendable realizar una aproximación al grado de fiabilidad del modelo (VAN LEUSEN et ál., 2005: 32).

Hay que tener en cuenta, además, un problema adicional asociado a las fuentes de información. En los modelos predictivos inductivos (los mayoritarios), los procedimientos estadísticos empleados, fundamentalmente la regresión logística y el  $K_j$  (véase capítulo 4), no sólo es necesario saber los lugares donde existen sitios arqueológicos

conocidos, sino también donde no los hay: los "no-sitios". Cuando los modelos se diseñan para áreas extensas la selección de los "no-sitios" no está exenta de dificultades y las estrategias para seleccionarlos son también variadas, desde la comprobación in situ de lugares elegidos al azar, al registro de esta información en las prospecciones arqueológicas realizadas teniendo en cuenta este objetivo ya que, normalmente, es una información que no se compila en los inventarios convencionales (DORE y WANDSNIDER, 2006: 81).

## Variables independientes

Las variables independientes son aquellas que pueden influir en otras, en este caso la variable dependiente "sitios arqueológicos". Dependiendo del estado de cada variable independiente considerada puede haber mayor o menor probabilidad de que existan sitios arqueológicos en un área dada. Por ejemplo, será más probable que haya sitios arqueológicos en lugares con potencial agrícola elevado, más cerca de los recursos hídricos y en cotas altimétricas que no superen un determinado umbral. En función de esta hipótesis, los lugares en los que las variables "potencial agrícola", "hidrología" y "altimetría" conjuguen dichos valores serán potencialmente más idóneos para localizar sitios arqueológicos.

En general, hay un grupo de variables primarias que son utilizadas en los modelos y otro grupo de variables derivadas de aquellas mediante algoritmos matemáticos que normalmente forman parte las prestaciones de los Sistemas de Información Geográfica. Las variables primarias y derivadas del medio físico más comunes se presentan en la tabla 2.

VARIABLES DEL MEDIO FÍSICO	
Variables primarias	Variables derivadas
ALTIMETRÍA	Pendientes
	Rugosidad
	Orientación
	Insolación
	Altura relativa
	Preeminencia topográfica...
HIDROGRAFÍA	Distancia horizontal y vertical a redes primarias, secundarias y otras superficies de agua
	Dirección del agua
	Estacionalidad...
VEGETACIÓN	Tipo de vegetación
	Variedad
	Especies arbóreas...
TIPOS DE SUELO	Permeabilidad
	Frecuencia de inundaciones
	Morfología
	Productividad
	Drenaje...

**Tabla 2.** Variables independientes del medio físico primarias y derivadas. Fuente: Elaboración propia

Las principales variables independientes utilizadas en la formulación de modelos predictivos son de carácter medioambiental, lo que, como ya se ha comentado anteriormente, ha sido objeto de las principales críticas de algunos investigadores. No es este el único problema que comúnmente se asocia a las variables independientes. Los principales son:

a) Se tiende al uso de variables medioambientales referidas al medio físico actual y no pretérito. En muy raras ocasiones se elabora cartografía temática con datos paleoambientales por su coste y por la escasa disponibilidad de información para territorios extensos. Sin embargo, las condiciones físicas han podido variar sustancialmente con cambios en las líneas de costa, el curso de los ríos, tipos de vegetación, clima, etc. (CHURCH, BRANDON y BRUGETT, 2000: 138-139). Las distorsiones que pueden producirse por este motivo serán menos perceptibles cuanto más amplia sea el área de estudio, es decir, cuanto más pequeña sea la escala de trabajo (WARREN, 1995 b: 202).

b) Existen diferentes procedimientos para elaborar cartografía derivada. Es el caso, por ejemplo, de la variable "pendiente" o "altura relativa". En estos casos, una vez elegido el procedimiento que se estime más fiable, conviene hacerlo explícito para que pueda ser contrastado siguiendo sistemas alternativos.

c) Si se produce cartografía derivada de variables especialmente susceptibles de haber sufrido cambios notables a lo largo del tiempo, como en el caso de la vegetación, el error acumulado por el modelo se multiplicará por lo que, en este caso, es preferible trabajar en base a la "vegetación potencial".

d) Se emplean pocas variables independientes propiamente culturales (vías pecuarias, intervisibilidad, distancia entre sitios, áreas de captación de recursos, tamaño de los sitios, etc.), aunque en muchos modelos se incorporan en mayor o menor número. La razón es la dificultad de cartografiar estas variables y, de nuevo, la escala de trabajo (HARRIS y LOCK, 2006). A pequeña escala las variables culturales tendrán menos incidencia que a escala de detalle, donde será más necesario incorporarlas. Entre ellas destacan las que intentan modelar la percepción paisajística a través de análisis de visibilidad (HARRIS y LOCK, 1995; WHEATLEY, 1993; 1995; 2004; BALDWIN et ál., 1996; STANČIČ y KVAMME, 1999) y el análisis de los patrones de conducta humana conocidos etnográficamente (LARCOMBE, 1994; DALLA BONA, 1994 b).

e) El modo en el que se toma la información proporcionada por las variables independientes es dispar. A veces, se selecciona el estado de cada variable en el lugar exacto en el que se encuentra cada sitio arqueológico conocido. Pero no siempre es sencillo realizar esta operación de selección. Un sitio arqueológico puede ubicarse en un terreno con potencial agrícola marginal pero muy cerca de otro de alto potencial agrícola, o a una distancia muy pequeña de un curso de agua pero de muy difícil recorrido. Para tener en cuenta este tipo de casuísticas se han desarrollado algunas alternativas viables como tomar el valor medio que toma cada estado de la variable en el entorno de un sitio, medir la distancia horizontal y vertical a los cursos de agua, recoger no sólo la altura absoluta sobre el nivel del mar, sino también la altura relativa respecto al entorno, etc.

Además de las variables medioambientales y culturales, existen otro grupo de variables independientes empleadas en el diseño de modelos de predicción arqueológica: las que afectan a la perdurabilidad de los sitios arqueológicos.

lógicos. Muchos lugares que han podido ser propicios en algún momento de la prehistoria o historia para el uso y/o aprovechamiento humanos pueden haber sido afectados por factores naturales y/o antrópicos que hayan acelerado su desaparición.

En los modelos predictivos enfocados hacia la gestión del patrimonio arqueológico es muy importante tener en cuenta estos factores, ya que las medidas preventivas que podrán aplicarse en áreas muy alteradas no tendrán el mismo carácter que las aplicadas en áreas propicias para el desarrollo de actividades humanas en las que se presuma una baja alteración de las condiciones originales.

Entre este último grupo de variables destacan las relacionadas con los usos del suelo, su variabilidad, factores erosivos, erodibilidad del suelo, etc. En algunos casos se ha usado esta información también para predecir el deterioro potencial futuro al que están sometidos los sitios arqueológicos, enfocando en esa dirección las políticas preventivas (EBERT y SINGER, 2004; DORE y WANDSNIDER, 2006).

## **Tratamiento de la información**

Antes de procesar la información referida a cada una de las variables seleccionadas, conviene realizar una serie de comprobaciones que aseguren su idoneidad. Estas comprobaciones se realizan tanto sobre la variable dependiente como sobre las variables independientes.

En primer lugar, se analiza la información arqueológica disponible para determinar los objetivos y alcance del modelo resultante. Como se ha apuntado anteriormente, la carencia de precisión en las adscripciones crono-funcionales puede descartar la posibilidad de elaborar cartografía de potencial arqueológico en función de distintos periodos históricos y/o tipologías funcionales. La falta de datos cualificados sobre el estado de conservación de los sitios arqueológicos conocidos también puede limitar el análisis de posible incidencia de los factores de alteración que hayan podido afectarles.

Una vez determinada la calidad y cantidad de la información arqueológica disponible y definido el alcance de los resultados que previsiblemente pueden obtenerse, es necesario definir las variables independientes que se van a utilizar y comprobar de forma exploratoria su utilidad. Para ello, normalmente se realizan correlaciones estadísticas básicas que descarten la distribución aleatoria de los sitios arqueológicos en relación con las distintas variables seleccionadas.

La cartografía tratada mediante Sistemas de Información Geográfica suele tener formato ráster, que presenta el territorio dividido en celdillas a las que se asocia el valor de la variable dependiente y el de las variables independientes. El tamaño de las celdillas no es estándar pero cuanto más pequeña sea, mayor será la resolución de la cartografía final resultante de la aplicación del modelo. El sitio arqueológico deja de considerarse, pues, la unidad de análisis que pasa a ser cada una de las celdillas en las que se divide el territorio (WARREN, 1990 a: 94; 1990 b: 202).

A cada celdilla se asociará el valor de la variable dependiente y de las variables independientes, pero esta asociación puede realizarse de diversos modos. Por ejemplo, si se va a tener en cuenta la superficie de los sitios arqueológicos, se tendrá que asociar la información de la variable dependiente a todas las celdillas afectadas (figura 4). Trabajando a escalas grandes, este procedimiento permitiría, por ejemplo, establecer jerarquías entre asentamientos y extender a más de una celdilla la información territorial procesada para afinar mucho más los resultados (MINK, STOKES y POLLACK, 2006) .

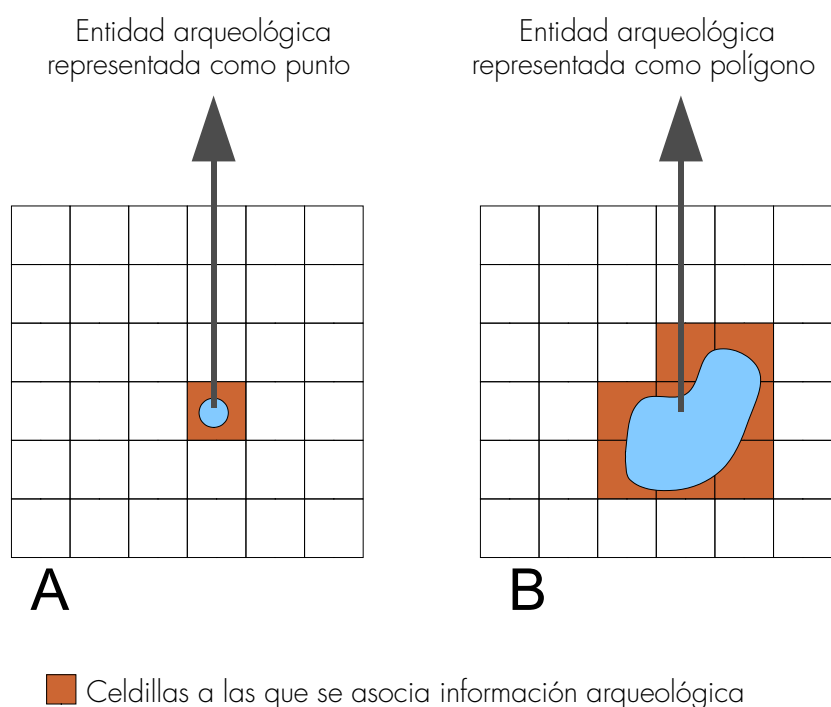


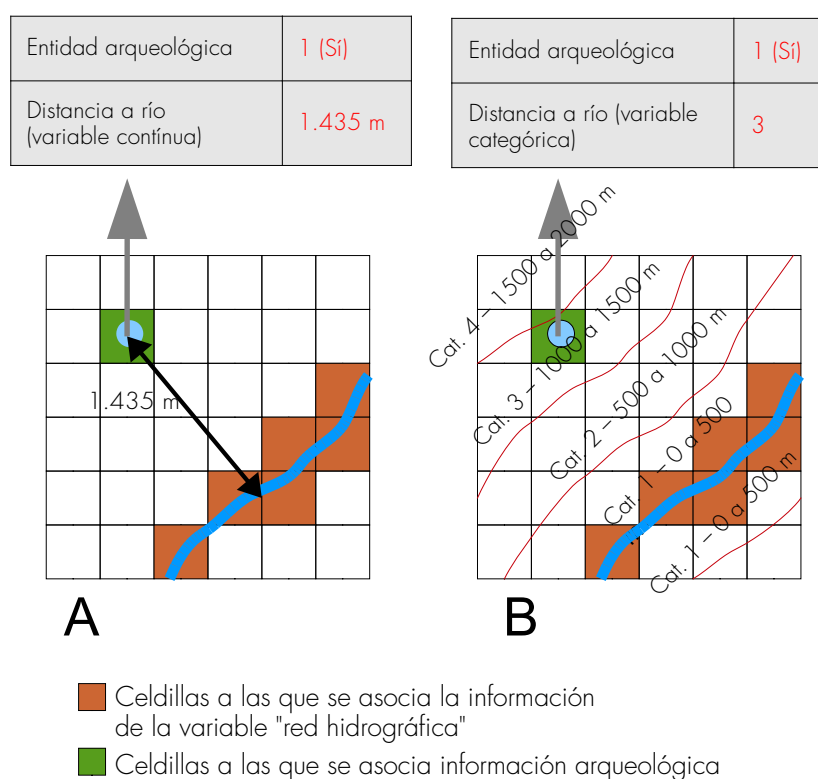
Figura 4. Asociación de información arqueológica. Fuente: Elaboración propia

Más complejo es el procedimiento de selección y asociación de información de las variables independientes a las celdillas, ya que depende del tipo de análisis que vaya a realizarse y del carácter de cada variable. Como muestra, se van a exponer algunos ejemplos en los que puede optarse por más de un procedimiento de extracción de la información referida a dichas variables.

a) En el primer caso se trataría de decidir si se extraen los datos de algunas variables continuas como variables categóricas o no. Las variables continuas pueden tener un número de valores indeterminados. Son variables continuas, por ejemplo, la altura o la distancia a cursos de agua. Si se pretende conocer la cota altimétrica o la distancia al curso de agua más próximo, puede optarse por medir la distancia exacta y asociarla a la celdilla en la que se sitúa el sitio arqueológico como ocurre en el caso A de la figura 5. Si el método estadístico aplicado para el procesamiento y la ponderación de todas las variables es la regresión logística, las variables continuas

son las que mejor se adaptan a sus requisitos. Si, por el contrario, se emplea el  $K_j$ , sería mejor transformarlas en variables categóricas.

En el caso de la red hidrográfica, como queda reflejado en el ejemplo B de la figura 5, puede dividirse el territorio en franjas de 100 metros (esta medida puede ser variable) y numerar cada una de ellas. El valor asociado no es absoluto, el dato procesado muestra que el lugar donde se localiza un sitio arqueológico se encuentra en la categoría 3 (entre 1000 y 1500 m de distancia). Así pues, las variables categóricas tienen un número determinado, normalmente pequeño, de valores.

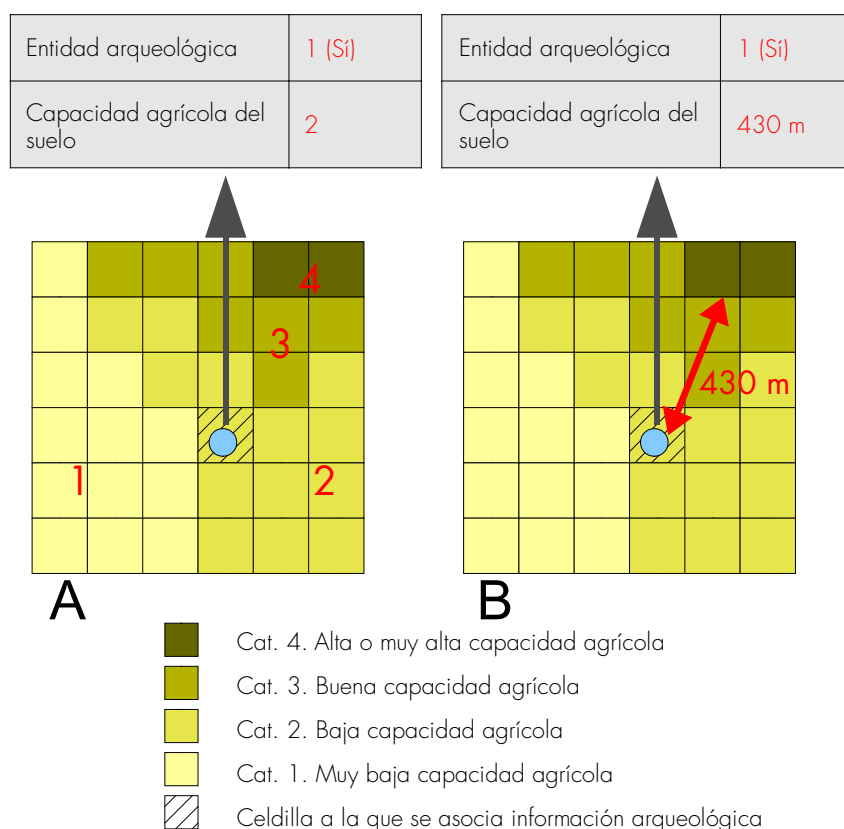


**Figura 5.** Asociación de información de la variable "Distancia a curso de agua".  
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, es muy común usar la variable de distancia al curso de agua más cercano pero rara vez se explicita qué tipo de curso de agua, su estacionalidad, temperatura, recursos, etc. (DORE y WANDSNIDER, 2006: 79).

En el caso de la variable "altimetría" pueden realizarse, también, ambos procedimientos: registrar la altura absoluta, o dividir el territorio por tramos altimétricos, transformando así la variable en categórica. En esta ocasión, sin embargo, existe una tercera posibilidad: considerarla como variable continua pero registrando el valor altimétrico resultante de calcular la media de las alturas de las celdillas contiguas al sitio arqueológico. Este procedimiento es útil cuando no se conoce la superficie del sitio (en ese caso se podría calcular la media altimétrica del conjunto de celdillas que ocupa), o se sospecha la posibilidad de que la localización no sea demasiado exacta.

b) Hay variables originalmente categóricas que también pueden tratarse como variables continuas. En el ejemplo A de la figura 6 se muestran las celdillas coloreadas en función de las categorías de la variable "capacidad agrícola del suelo". El sitio arqueológico se ubica en una celdilla de capacidad agrícola muy baja (área número 2). Sin embargo, no se tiene en cuenta que está muy próximo a una zona de alta o excelente capacidad. Si se parte de la hipótesis de que los asentamientos humanos serán más numerosos en esta última zona, puede medirse la distancia a ésta y asociar ese valor en forma de variable continua.



**Figura 6.** Asociación de información de la variable "Capacidad agrícola del suelo".  
Fuente: Elaboración propia

## EXPERIENCIAS INTERNACIONALES

### Objetivos y escalas de los modelos de predicción arqueológica

Existe un buen número de experiencias internacionales en la aplicación de modelos predictivos, tanto en Norteamérica, de donde provienen por el fuerte arraigo de la Arqueología procesual, como en Europa. La principal diferencia es que en Europa se importaron con una fuerte componente crítica respecto al determinismo ambiental deducido de las variables de análisis empleadas en la confección de los modelos y, por lo tanto, intentando incorporar variables culturales en ellos. No obstante, en la actualidad, no existen diferencias conceptuales significativas entre la información procesada a una y otra orilla del Atlántico, aunque quizá en Europa se trate de in-

tegrar más frecuentemente el juicio de personas expertas en el estudio de los patrones de asentamiento humano a lo largo de la historia para compensar el fuerte arraigo de los métodos exclusivamente inductivos basados en correlaciones estadísticas.

La extensión de territorio abarcada por estos modelos es muy variable. En general, los modelos diseñados para su uso en la gestión de patrimonio abarcan zonas más amplias que los realizados como experimento metodológico o para investigar y explicar patrones de asentamiento antiguo.

Cuando el modelo tiene como objetivo el apoyo en la gestión del patrimonio arqueológico, el resultado ofrece áreas de alto potencial que ayudan a priorizar intervenciones de documentación o establecimiento de medidas preventivas en el planeamiento territorial. En estos casos suelen emplearse procedimientos analíticos inductivos. Cuando se trata de investigar la conducta humana y las razones de la preferencia por unas u otras áreas territoriales para su uso y aprovechamiento se suele cuidar más el contraste de los resultados y su interpretación, afectando a áreas ceñidas a las delimitaciones más o menos reducidas de los proyectos de investigación. Los que se centran en el desarrollo de metodologías para su construcción combinan ambos tipos de aproximaciones y se aplican para la resolución de problemas relacionados tanto con la gestión como con la investigación arqueológica.

Contra lo que cabría esperar, la incorporación de variables culturales no es especialmente significativa en los modelos de áreas reducidas, a pesar de que estas juegan, a escala de detalle, un papel primordial. Utilizando un ejemplo de K. L. Kvamme, en un modelo a escala regional se puede pensar que habrá más densidad de sitios arqueológicos en un determinado valle en el que se una la cercanía al agua y la disponibilidad de suelos cultivables, pero la elección del lugar concreto en el valle (escala de detalle) dependerá de características particulares como la accesibilidad, pendiente, visibilidad, situación estratégica para la defensa, etc. (KVAMME, 2006: 31).

En función de la escala de análisis se pueden agrupar los modelos en tres clases: los de escala grande, escala intermedia y pequeña escala. A continuación se resumen algunas de las experiencias internacionales más destacadas.

### **Modelos predictivos a escala grande**

El área de estudio de estos modelos no supera los 100 km<sup>2</sup>, lo que los convierte en experiencias orientadas al establecimiento de patrones de comportamiento humano más que en experiencias prácticas para la gestión patrimonial ya que, a esta escala, un modelo predictivo no superará la eficacia de las prospecciones arqueológicas intensivas, viables en territorios reducidos. No obstante, sí se han realizado a esta escala desarrollos metodológicos para mejorar los modelos predictivos empleados en el ámbito de la gestión arqueológica.

#### **Gestión del patrimonio arqueológico**

Uno de los modelos aplicados a la gestión del patrimonio arqueológico que afecta a un área más reducida es el diseñado para la Bahía de Upper Chesapeake (Maryland, EEUU). El objetivo de la delimitación de áreas de alto



potencial arqueológico era la evaluación del impacto que sobre el patrimonio arqueológico podían causar los proyectos programados con incidencia territorial. Se emplearon variables tanto ambientales como culturales, llegándose a delimitar un área de alto potencial que representaba el 19,2% del total y en la que se localizaban 42 de los 46 sitios arqueológicos conocidos, algo más del 91% (WESCOTT y KUIPER, 2000).

VARIABLES AMBIENTALES	Hidrología (Distancias)
	Topografía
	Pendientes
	Altimetría
	Aspecto
	Geomorfología
	Drenaje
	Tipo de suelo
VARIABLES CULTURALES	Distancia entre asentamientos
	Intervisibilidad

**Tabla 3.** Variables integradas en el modelo predictivo de Upper Chesapeake (Maryland, EEUU). Fuente: Elaboración propia basada en Wescott y Kuipper (2000)

Una finalidad metodológica orientada hacia la gestión del patrimonio arqueológico tuvo el modelo realizado para el área de Mount Trumbull en Arizona (EEUU). La superficie analizada era de 36 km<sup>2</sup> y su objetivo fue la delimitación de áreas en las que podían aparecer sitios arqueológicos en entornos inusuales, analizando el comportamiento de aquellos que no se localizaban en áreas favorables. Se denominó por ello *Modelo de Bandera Roja* (ALTSCHUL, 1990) y se diseñó aplicando correlaciones estadísticas entre la localización de los sitios y tres variables ambientales: pendientes, aspecto (relieve) y altimetría.

Otro desarrollo metodológico en la misma dirección se plantea en el modelo predictivo de los valles de los ríos American y Cosumnes en California (EEUU), de 47,9 km<sup>2</sup> y 58,6 km<sup>2</sup> respectivamente. Se dudaba de la correcta localización de un buen número de los sitios arqueológicos conocidos y registrados en 1968, por lo que se trató de concretar este error para proceder a su reubicación espacial. Partiendo de la base de la existencia de este error, se optó por la aplicación de un procedimiento deductivo de asignación de valores a las variables empleadas, que fueron exclusivamente ambientales (morfología, proximidad a arroyos, elevaciones y pendientes) y seleccionadas en función de su relevancia estimada. El resultado determinó que de los 170 sitios arqueológicos registrados sólo 31 estaban bien localizados (HANSEN, SIMPSON y WEST, 2002).

### Proyectos de investigación arqueológica

En Fort Drum (Nueva York, EEUU) se realizó un modelo predictivo para una superficie territorial de 26,8 km<sup>2</sup> con el fin de maximizar el resultado de las prospecciones arqueológicas (HASENSTAB y RESNICK, 1990). Se emplearon variables ambientales, culturales y de conservación para delimitar 5 áreas en función de su poten-

cial arqueológico, aconsejando distinta intensidad de reconocimiento durante el desarrollo de prospecciones arqueológicas.

VARIABLES AMBIENTALES	Pendientes
	Proximidad a arroyos
	Tipo de suelo
VARIABLES CULTURALES	Distancia a vías históricas
	Distancia a sitios conocidos
VARIABLES DE CONSERVACIÓN	Áreas de Alteración del suelo

**Tabla 4.** Variables integradas en el modelo predictivo de Fort Drum (Nueva York, EEUU). Fuente: Elaboración propia basada en Hasenstab y Resnick (1990)

En otras ocasiones la finalidad ha sido determinar las zonas donde existen más posibilidades de localizar sitios arqueológicos de un determinado periodo histórico. Es el caso de los modelos de Illinois (EEUU) y del entorno de Tell al-Umayri (Jordania). En el primero de ellos (91 km<sup>2</sup>), se delimitaron áreas de alta, media y baja probabilidad de albergar sitios prehistóricos, empleándose la regresión logística a partir de la información registrada sobre los sitios (WARREN, 1990 b). El resultado, que permitía localizar correctamente el 67% de los sitios y el 39% de los no-sitios, fue considerado válido aunque se expusieron sus limitaciones resumidas en:

- El empleo de variables derivadas, que según el procedimiento empleado para su elaboración podía producir diferentes resultados.
- Se localizaban demasiados sitios fuera de las áreas de potencial siguiendo patrones residuales.
- Se emplearon variables categóricas, a pesar de que no son las más idóneas para aplicar regresiones logísticas que funcionan mucho mejor con variables continuas.

VARIABLES AMBIENTALES	Altimetría	
	Pendientes	
	Aspecto (relieve)	
	Afloraciones calizas	
	Hidrografía (distancia vertical y horizontal a cursos de agua)	
	Tipos de suelo	Permeabilidad
		Frecuencia de inundaciones
		Morfología
		Productividad
		Drenaje
VARIABLES DE CONSERVACIÓN	Erodibilidad del suelo	

**Tabla 5.** Variables integradas en el modelo predictivo Illinois (Nueva York, EEUU). Fuente: Elaboración propia basada en Warren (1990 b)

En Jordania (CHRISTOPHERSON y ENTZ, 2001), dentro de un proyecto de investigación del asentamiento de Tell al-Umayri, se diseñó un modelo, empleando también la regresión logística, para maximizar la eficacia de las prospecciones arqueológicas en su entorno, que trataban de localizar sitios arqueológicos de la Edad del Hierro. Tras la prospección del 8,6 % del territorio de forma selectiva en zonas de alto potencial, se amplió el conocimiento del número de sitios en un 81%.

VARIABLES AMBIENTALES	Hipsografía	
	Hidrografía	
	Altimetría	Pendientes
		Aspecto
		Modelado 3D
	Wadis	
	Geología	
	Tipo de suelo	
VARIABLES CULTURALES	Caminos (distancias)	

**Tabla 6.** Variables integradas en el modelo predictivo del entorno de Tell al-Umayri (Jordania). Fuente: Elaboración propia basada en Christopherson y Entz (2001)

En Italia se realizó un modelo predictivo inductivo en el área de los *Cures Sabini* (Trento, Italia). Su principal objetivo, en el marco de una investigación histórica, ha sido el de proponer variantes a los procedimientos estadísticos más comúnmente utilizados: la regresión logística y el  $K_j$  (ESPA et ál., 2003).

VARIABLES AMBIENTALES	Altimetría
	Geología
	Morfología
	Hidrografía
	Pendientes
	Insolación
	Litología
	Usos del suelo
VARIABLES CULTURALES	Caminos antiguos
	Centuriaciones

**Tabla 7.** Variables integradas en el modelo predictivo de los Cures Sabini (Italia). Fuente: Elaboración propia basada en Espa et ál. (2003)

También en Italia se realizó un experimento metodológico aplicado a la investigación arqueológica en la cuenca del río Rieti (Italia), focalizado hacia la localización de sitios arqueológicos de un determinado periodo histórico, en este caso de época romano-republicana (VAN DALEN, 1999). Se aplicaron dos métodos estadísticos, uno de

asignación de pesos a las distintas variables a partir del conocimiento previo de los patrones de asentamiento en este periodo histórico (método bayesiano) y otro empleando el método geométrico, basado en la información arqueológica preexistente. Como resultado se elaboraron una serie de orientaciones en torno al mejor uso de ambos modelos que, en los dos casos, utilizaban variables ambientales (altimetría, pendientes, tipo de suelos e hidrografía).

## Modelos predictivos a escala intermedia

Este segundo grupo integra modelos que abarcan superficies entre los 100 km<sup>2</sup> y 1 000 km<sup>2</sup> aproximadamente.

### Gestión de patrimonio arqueológico

En la Bahía de Upper Chesapeake (Maryland, EEUU) se delimitaron áreas de alto potencial de sitios prehistóricos en un territorio de 156 km<sup>2</sup> (KUIPER y WESCOTT, 1999). Esta delimitación se basó en la comparación de los resultados de los análisis estadísticos realizados sobre las localizaciones arqueológicas existentes con una distribución aleatoria alternativa en función de unas determinadas variables ambientales.

VARIABLES AMBIENTALES	Hidrografía (distancia vertical a cursos de agua)	
	Tipo de aguas	
	Tipo de suelo	
	Altimetría	Pendientes
		Aspecto (relieve)
		Topografía

**Tabla 8.** Variables integradas en el modelo predictivo la Bahía de Upper Chesapeake (EEUU). Fuente: Elaboración propia basada en Kuiper y Wescott (1999)

La delimitación de áreas de potencial arqueológico para la planificación de los usos del suelo fue el objetivo del modelo diseñado para la Earstern Prairie Peninsula en Illinois (EEUU), de 322 km<sup>2</sup>, aplicando la regresión logística. Se constató la eficacia del modelo, en el que se integraban exclusivamente variables ambientales, en un 70-73% de los casos (WARREN y ASCH, 2000).

VARIABLES AMBIENTALES	Hidrografía (distancia a cursos de agua)	
	Tipo de suelo	
	Vegetación nativa (distancia a las praderas boscosas)	
	Altimetría	
	Relieve	
	Drenaje del suelo	

**Tabla 9.** Variables integradas en el modelo predictivo en Earstern Prairie Peninsula (Illinois, EEUU). Fuente: Elaboración propia basada en Warren y Asch (2000)

En Carolina del Sur (EEUU), sobre una extensión de 432 km², se realizó un modelo predictivo con la particularidad de que se delimitaron áreas de alta probabilidad de aparición de sitios arqueológicos históricos y prehistóricos en función de diferentes niveles de importancia o significación. Para ello se trataron una serie de variables ambientales (hidrografía, hipsografía, llanuras aluviales y pendientes) a través de clasificaciones binarias combinadas (CLEMENT, DE y KLOOT, 2001).

En Pomuerje (Eslovenia) la elaboración del modelo predictivo se planteó como soporte para la toma de decisiones en el proceso de planificación de infraestructuras en una superficie de 384 km². A partir de la realización de una serie de tests de significación (chi-cuadrado y test de Student), se delimitaron zonas de potencial arqueológico en función de sus características altimétricas, hidrológicas, geológicas, edafológicas y de los usos del suelo (STANČIČ et ál., 2001). El 81% de los sitios conocidos se situaban en zonas de alto potencial (aunque no se precisa la superficie de estas zonas) y el 19% restante en zonas de potencial medio. Prospecciones posteriores en un corredor de 11,2 km² confirmaron la utilidad del modelo (VELJANOVSKI y STANČIČ, 2006: 405 y ss.).

Una metodología similar se empleó en Georgia (EEUU) sobre un área de 1 130 km² (JOHNSTONE, 2003). Se realizaron tests de significación a través de pruebas de chi-cuadrado para delimitar áreas de alta, media y baja probabilidad de localizaciones de sitios prehistóricos e históricos. En este caso, además de las variables ambientales, se integraron en el modelo variables culturales.

VARIABLES AMBIENTALES	Elevaciones	Pendientes
		Relieve
		Aspecto
	Hidrografía (distancias)	
	Permeabilidad del suelo	
VARIABLES CULTURALES	Camino	
	Comunidades históricas	

**Tabla 10.** Variables integradas en el modelo predictivo de Georgia (EEUU).  
Fuente: Elaboración propia basada en Johnstone (2003)

Sobre una superficie de 1 000 km² se elaboró en Piñon Canyon (EEUU) un modelo predictivo que empleó la regresión logística como procedimiento estadístico para delimitar áreas más y menos aptas para la localización de sitios arqueológicos. Según sus autores, el 97% de los sitios arqueológicos conocidos estaban ubicados correctamente en la zonas de mayor potencial (KVAMME, 2005).

VARIABLES AMBIENTALES	Topografía
	Hidrografía (distancia vertical y horizontal a cursos de agua)
	Pendientes
	Aspecto (relieve)
	Curvatura del terreno

**Tabla 11.** Variables integradas en el modelo predictivo de Piñon Canyon (EEUU). Fuente: Elaboración propia basada en Kvamme (2005)

## Proyectos de Investigación Arqueológica

En el contexto de un proyecto de investigación sobre asentamientos fortificados de la Edad del Bronce en la Isla de Brač (Croacia), el propósito fue la delimitación de áreas especialmente aptas para su localización sobre una extensión de 120 km<sup>2</sup> (STANČIČ y KVAMME, 1999; VELJANOVSKI y STANČIČ, 2006: 399 y ss.). Aplicando procedimientos estadísticos basados en la lógica booleana, se redujo al 0.22% el territorio muy apto para la ubicación de dichos asentamientos. Todos los que se conocían hasta ese momento, ocho en total, se ubicaban en estas áreas.

VARIABLES AMBIENTALES	Distancia lineal a la costa
	Modelo de gravedad
	Pendientes
	Índice de drenaje del suelo
	Índice de reborde
	Relieve
VARIABLES CULTURALES	Distancia entre sitios
	Visibilidad acumulada

**Tabla 12.** Variables integradas en el modelo predictivo la Isla de Brač (Croacia). Fuente: Elaboración propia basada en Veljanovski y Stančić (2006)

En una extensión mayor (1 086 km<sup>2</sup>) se aplicó el modelo del valle medio del Ródano (Francia). Se basó en la realización de diferentes tests de significación y extrapolación de densidades de sitios arqueológicos. Utilizando únicamente la variable independiente relativa a la geomorfología del lugar, se realizó una estimación numérica de los sitios potencialmente existentes de cada periodo histórico (VERHAGEN y BERGER, 2001).

## Modelos predictivos a pequeña escala

A esta escala, los modelos desarrollados se orientan a la zonificación del territorio en función de su potencial arqueológico como soporte informativo para la toma de decisiones en la gestión patrimonial.

Uno de los primeros modelos predictivos en Arqueología a pequeña escala fue el de Montana Central (EEUU) sobre una extensión de 15 742 km<sup>2</sup> (CARMICHAEL, 1990). A partir de la información proporcionada por los registros

de sitios arqueológicos, y empleando la regresión logística, se delimitaron áreas de probabilidad de localizaciones arqueológicas. Con el empleo exclusivo de variables ambientales (distancia vertical y horizontal a cursos de agua, altimetría, pendientes y aspecto), se ubicaron correctamente el 72% de los sitios conocidos en el 45% de la superficie total.

Mejores resultados se obtuvieron en Caribou Forest (8 000 km²) y Tamagami y Nipissing Forest (24 275 km²) en Ontario (Canadá), empleando correlaciones estadísticas e incorporando información etnográfica en el modelo (HAMILTON, 1994; DALLA BONA, 2000). Al menos el 84% de los sitios arqueológicos conocidos se localizan en zonas de alto potencial que representan el 16.25 % del total.

VARIABLES AMBIENTALES	Hidrografía
	Altimetría
	Geología
	Morfología
	Tipo de suelo
	Topografía
	Aspecto
	Pendientes
VARIABLES CULTURALES	Información etnográfica

**Tabla 13.** Variables integradas los modelos predictivos de Ontario (Canadá). Fuente: Elaboración propia basada en Dalla Bona (2000)

Similares porcentajes se registraron en el modelo desarrollado en Pensylvania y Oeste de Virginia en Illinois (EEUU). Aunque no se especifica la superficie de las zonas de alto potencial, sí se concreta que entre el 75 y el 80% de las localizaciones arqueológicas conocidas se ubican en ellas (DUNCAN y BECKMAN, 2000).

VARIABLES AMBIENTALES	Hidrología
	Drenaje
	Rugosidad/Aspecto
	Insolación
	Morfología
	Suelo
	Altimetría (MDE)
	Pendientes
VARIABLES CULTURALES	Senderos
VARIABLES DE CONSERVACIÓN	Carreteras y otras alteraciones

**Tabla 14.** Variables integradas los modelos predictivos de Pensylvania y Oeste de Virginia (EEUU). Fuente: Elaboración propia basada en Duncan y Beckman (2000)

Uno de los modelos predictivos más complejos es el desarrollado por el Departamento de Transportes de Minnesota (EEUU). Se incorporan un importante número de variables ambientales, culturales y de conservación (tabla 15) sobre una superficie de 12 872 km<sup>2</sup> (HUDAK et ál., 2002). Su objetivo es la delimitación de áreas preferentes de localización de sitios arqueológicos para la planificación de proyectos en fases iniciales de desarrollo. El 86% de los sitios conocidos se localizan en áreas de alto potencial que suponen el 25% de la superficie total (figura 7).

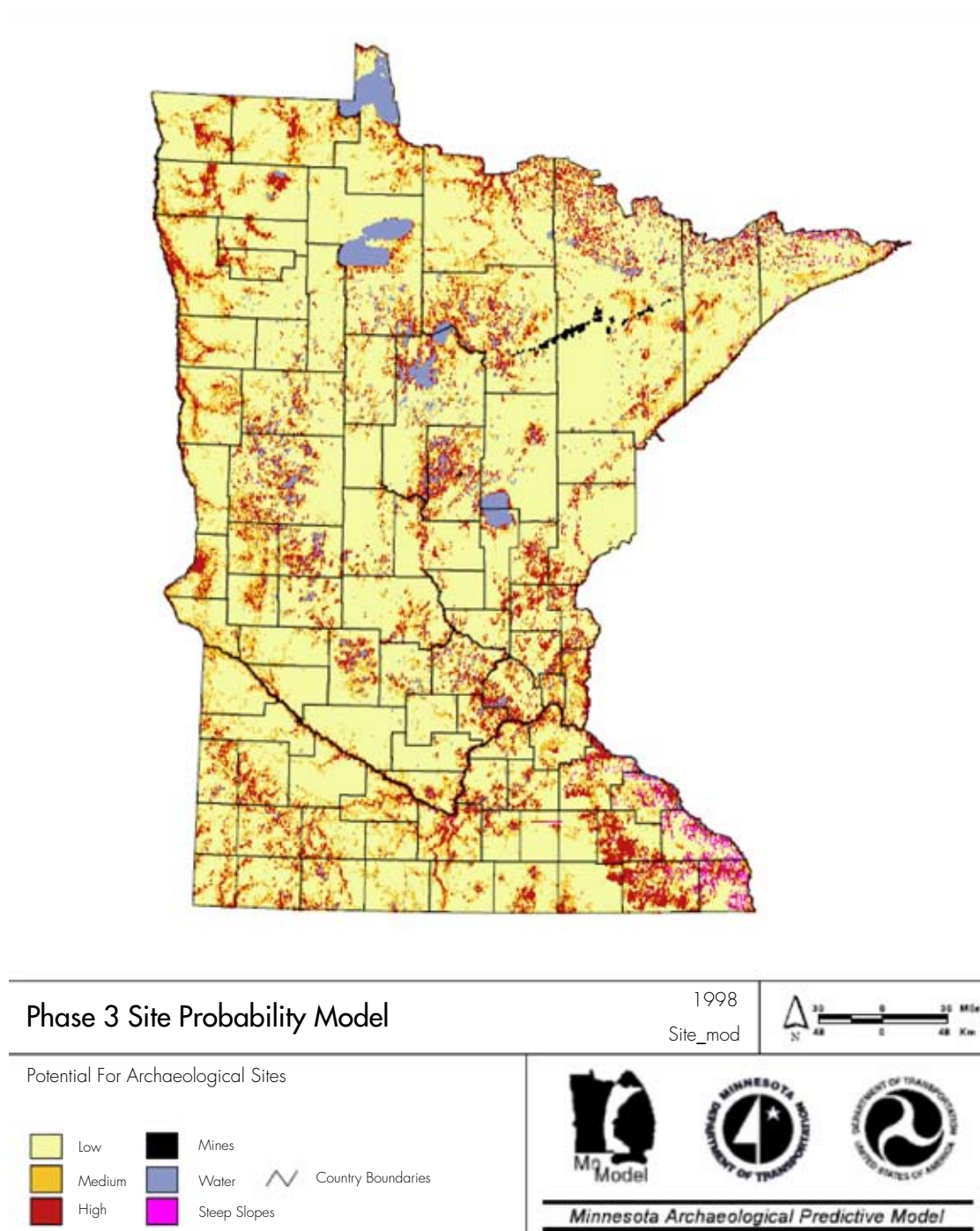


Figura 7. Mapa de potencial arqueológico de Minnesota. Fuente: Hoobs et ál. (2002)



VARIABLES AMBIENTALES	Altimetría	Pendientes
		Rugosidad
		Orientación
		Insolación
		Elevación relativa
		Preeminencia topográfica...
	Hidrografía	Distancia horizontal y vertical a redes primarias, secundarias y otras superficies de agua.
		Dirección del agua
		Estacionalidad...
	Tipos de suelo	
	Drenaje	
	Vegetación	Tipo
		Variedad
		Distancias
		Especies arbóreas...
	Paleoambiente	Clima
		Vegetación
		Geomorfología
		Geología...
VARIABLES CULTURALES	Información etnográfica	Caminos
		Pueblos
		Zonas cultivadas
		Campamentos...
VARIABLES DE CONSERVACIÓN	Complejos extractivos	
	Susceptibilidad a la erosión	
	Sedimentación	

**Tabla 15.** Variables integradas en el modelo predictivo de Minnesota (EEUU).  
Fuente: Elaboración propia basada en Hobbs et ál. (2002)

En Europa, el modelo que afecta a una superficie más amplia (30 000 km<sup>2</sup>) es el de Brandenburgo (Alemania). Tras la formalización del modelo, basado en la realización de correlaciones estadísticas entre los sitios arqueológicos conocidos y una serie de variables ambientales (topografía, suelos, geología y geomorfología), se comprobó que en un área testada, todos los sitios se localizaban en áreas de alto o medio potencial (DUCKE y MÜNCH, 2005).

En definitiva, puede observarse cómo a escala grande los modelos predictivos han estado más orientados a la búsqueda y explicación de los factores que inciden en el comportamiento locacional humano. Conforme la escala es más pequeña, los modelos suelen tener como objetivo la maximización de los esfuerzos de identificación del patrimonio arqueológico para apoyar las políticas de protección.