

# Controversias y tendencias de la modelación cartográfica ambiental<sup>1</sup>

Héctor F. del Valle<sup>2</sup>

Área Científica Ecología Terrestre, Centro Nacional Patagónico (CENPAT)  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

## Introducción

### a. Problemas y exigencias de la cartografía Argentina

En la actualidad, los problemas ambientales constituyen una creciente preocupación de toda la humanidad y enfrentan al hombre a su propia supervivencia (UNESCO, 2005). La mayoría de los especialistas vinculados a la temática ambiental reconocen que la complejidad de los problemas trascienden el escenario propio de su cartografía y modelado (Lalonde y Jackson, 2002).

A pesar del desarrollo continuo de la Geomática, podemos afirmar que el tratamiento cartográfico actual se encuentra en crisis, principalmente en su intento de modelar de manera conexa y sistémica, las múltiples relaciones que vinculan a los organismos vivos (incluido el hombre) con su medio (Scott, 2002). Es decir, que el modelado espacial de las variables ambientales no acompaña totalmente la evolución de la tecnología, a causa de la complejidad de la naturaleza y de los altos costos de las observaciones directas, entre otras consideraciones. Cabe aquí la observación del *Canada Environmental Advisor Council* (CEAC, 1991) donde los geoindicadores deben presentar las siguientes características: 1) ser utilizables para prospecciones futuras y no ser simplemente una herramienta de monitoreo, 2) reflejar enlaces entre el comportamiento humano y el grado de vigor y productividad del sistema natural, y 3) reconocer la incertidumbre inherente al comportamiento de los sistemas naturales.

En la Argentina, a pesar de todos los esfuerzos, los métodos de evaluación ambientales son heterogéneos en sus escalas, formatos y procedimientos de elaboración. En general, el esfuerzo es disperso y fragmentado. Hay demasiados estudios empíricos y aseveraciones en la información ambiental que perjudican a la información válida y a la inversión (del Valle, 2008).

También existe una brecha cartográfica entre los formatos elegidos por los generadores y consumidores de geodatos. Si bien no existen estadísticas serias en el país, un gran porcentaje de las cargas de datos se realizan en el formato de fichero *shp* (*shapefile*, típico de los productores profesionales de geodatos), siguiendo en forma decreciente los formatos *kml* (*keyhole mark-up language*, usado principalmente por el *Google Earth*) y *csv* (*comma separated variables*, frecuentemente empleado por los consumidores de los geoposicionadores GPS). Esto nos lleva a preguntarnos ¿por qué nos empeñamos en producir datos en formatos que no son de éxito o de consumo generalizado por la sociedad?.

En la mayoría de las veces, los usuarios de los mapas ambientales en la Argentina no pueden evaluar el costo de lo que obtienen (la pérdida de productividad no se aprecia y la degradación de los componentes suelo-vegetación-agua, entre otros procesos, es a menudo solapada). No hay una evidente comprensión de roles organizativos y de adecuada inversión pública y privada. Los sistemas de información ambiental son técnicamente muy demandantes y requieren una inversión segura a largo plazo.

---

<sup>1</sup> Artículo publicado: del Valle H.F. 2008. Controversias y tendencias de la modelación cartográfica ambiental. En: M.P. Cantú, A.R. Becker y J.C. Bedano (eds.), 89-96 pp., *Evaluación de la Sustentabilidad Ambiental en Sistemas Agropecuarios*. Editorial Fundación Universidad Nacional de Río Cuarto (EFUNARC). ISBN 978-987-1003-58-7.  
<sup>2</sup> Boulevard Almirante Brown 2825. (U9120ACF) Puerto Madryn (Chubut), Argentina. E-mail: delvalle@cenpat.edu.ar

La mencionada situación se agrava aún más cuando especialistas relacionados directa o indirectamente con los estudios ambientales, pero desconocedores de las normas y procedimientos cartográficos ("falsos-cartógrafos") intentan producir, y producen, sus propios mapas. En muchos de estos casos, verdaderos "basureros cartográficos" obtienen licencia de circulación y, lejos de aportar claridad y comprensión sobre los fenómenos que tratan de representar, logran, y a veces con asombrosa efectividad, el resultado contrario (del Valle, 1998). Si a ello le sumamos la mala utilización de la información digital (Teledetección, Sistemas de Información Geográfica), valorados en este contexto basura, se habrán logrado entonces "basureros cartográficos altamente tecnologizados" (del Valle, 2008).

Las posibles causas de la drástica disminución del apoyo a las ciencias ambientales en la Argentina serían:

- Los estados nacional y provincial reticentes en inversiones estratégicas para información en recursos naturales.
- La incertidumbre relativa a las perspectivas que tienen los graduados en hacer investigación (un problema común a todas las ciencias).
- La dificultad científica profunda en trasladar nuestra sofisticada comprensión de los procesos ambientales (adquiridos en laboratorio o en estudios puntuales de sitio) principalmente al nivel de la mesoescala.

La propia definición de cartografía ambiental se dificulta por lo abarcativo y complejo del objeto de estudio. El objetivo fundamental es mostrar una serie de herramientas básicas necesarias para inventariar, ordenar, clasificar e integrar los datos, tanto gráficos como alfanuméricos, que, procedentes de diversas fuentes, constituyen la parte fundamental de los estudios del ambiente (Moreno, 2004).

Si analizamos la cartografía ambiental como una cartografía temática, es tan amplia que comprende a toda la cartografía, enmascarada en un pragmatismo superficial en nuestro país, y que en realidad exige de una sólida base teórica-práctica metodológica, esclareciendo sus objetivos y tareas. La creación de valor agregado sobre los datos espaciales deberá ser la gran protagonista de los próximos años en la Argentina, y un motor de crecimiento para aquellas instituciones estatales y privadas que apuesten por la creación de verdaderos Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Una gran parte de nuestra comprensión científica del ambiente seguirá sin usarse hasta que no tengamos buena información espacial sobre las propiedades funcionales, como asimismo Sistemas de Monitoreo de componentes seleccionados bien diseñados. Resolver este problema requiere un programa coordinado de investigación y desarrollo, reforma institucional, conducta cooperativa y paciente inversión tanto estatal como privada. El desafío es elaborar la infraestructura de datos espaciales, dando valor agregado a las capas de información objeto-relacional, mejorando principalmente los métodos de modelo cartográfico.

## **b. Comunicación cartográfica**

Al ser la cartografía una forma de transmisión de la información espacial, una de las características más importantes del hecho comunicacional es la búsqueda de formas que permitan ampliar y hacer más eficiente este proceso a través de la modelación (Bosque Sendra y Zamora Ludovic, 2002). El término modelación cartográfica tiene dos interpretaciones: una para designar al proceso de creación de un mapa como modelo de la realidad y la otra para designar el proceso de investigación por medio de los mapas.

La modelación permite:

- Diagnosticar y evaluar el estado actual de los objetos.
- Analizar el comportamiento espacio temporal de los objetos.
- Analizar y ordenar los objetos reales en el marco de un territorio.
- Elaborar pronósticos.
- Desarrollar situaciones teóricas.

- Comprobar hipótesis sobre la distribución y organización espacial de los objetos.
- Realizar sucesivas aproximaciones hasta lograr el modelo más cercano a la realidad.

El desarrollo tecnológico ha permitido que los recursos del cartógrafo se vean incrementados por la incorporación de elementos como la cartografía digital (uso de complejas tecnologías informáticas), sumado a la animación gráfica, el sonido, el vídeo, y de herramientas de diseño y visualización. A partir de este planteamiento, podemos definir el método cartográfico analógico y/o digital como: la manera de representar los fenómenos espaciales con el fin de que su estructura y su dinámica puedan ser visualizadas y comprendidas (Kraak y Omerling, 1996).

Una metodología común en el mapeo digital del ambiente puede facilitar la confección de la cartografía a diferentes escalas y ayudar a la armonización, estandarización y diversidad de la información ambiental. Sin embargo, hay algunas preguntas importantes que necesitan ser contestadas, tales como:

- ¿Cuál es el modelo cartográfico más adecuado en situaciones o áreas particulares?.
- ¿Cuáles son las capas de datos más importantes?.
- ¿Cuál es la forma más apropiada de modelar sin incertidumbres?.

En la actualidad, asistimos a la emergencia de una variada serie de herramientas cartográficas *on line* de bajo costo como: *Google Earth* y *Google Maps*, *NASA World Wind*, *Yahoo Maps*, *MapQuest* y *Microsoft MapPoint*, son solo algunos ejemplos. Estas nuevas aplicaciones también hacen evidente la necesidad de contar con otros tipos de geoinformación, una necesidad ampliada por el avance de los SIG e Internet, que permiten utilizar la información geográfica de una manera muy diferente al uso que habitualmente se hacía de la cartografía analógica e impresa (Metternicht, 2006).

Como ya sabemos, adquirir datos de los indicadores ambientales (y por lo tanto los geoindicadores) es una tarea técnicamente compleja y costosa. Este costo depende de diferentes factores: la precisión y resolución de los datos, su número, la complejidad técnica que requiere su obtención, la extensión territorial abarcada y el monitoreo previsto (Bosque Sendra y Zamora Ludovic, 2002). No hay que olvidar que al registro de las coordenadas hay que sumar el de la caracterización del sitio. Esta información nos ofrece las pistas necesarias para elegir cuál va a ser la técnica más adecuada en cada caso: vectorización automática, digitalizando sobre la pantalla, mediante relevamiento de campo, o mediante el tratamiento de imágenes de sensores remotos. El uso de estos últimos implica la clara definición del tipo de resoluciones a utilizar para enfrentar las necesidades de información espacial, esta es la base del proceso digital. La reflectividad de cada objeto encuentra respuesta en las firmas espectrales, propias de cada cubierta, las que encuentran también su mejor representación en la aplicación de distintos tipos de procesos digitales (Jensen, 2007).

### **Modelo de datos: Cartografía Digital de Suelos (CDS)**

Los datos de suelos disponibles en la Argentina, la mayoría de las veces, fracasan para proveer las respuestas necesarias en el manejo de los recursos ambientales. Estos fracasos, entre otras causas, se deben a la falta de detalles espaciales requeridos por los usuarios, inconsistencia temática de los datos, ausencia de registro de los procedimientos y escasa verosimilitud de las observaciones. En general, no existe en la cartografía Argentina suficiente información para describir la diversidad de los suelos y sus funciones (del Valle, 1998). Nuevos tipos de datos de suelo se necesitan para reformular y/o completar las bases existentes y planificar las faltantes (del Valle, 2008).

Como modelo de datos y a modo de ejemplo, podemos considerar los conceptos modernos de la CDS, como un indicador de cambios en las condiciones ambientales (Dobos et al., 2006). Los mecanismos de respuesta se traducirían en modificaciones en los peligros y riesgos naturales asociados a los suelos, afectando directamente las calidades ambiental y de vida de las

personas. A modo de ejemplo, las propiedades edáficas y la posición de los suelos en el paisaje determinan su susceptibilidad a ser dañados por procesos como es la erosión laminar, la incisión de cárcavas y los movimientos en masa.

Los elementos que componen la CDS, como los datos de entrada y salida, las relaciones, las funciones y las amenazas se muestran en la Figura 1.

La CDS puede ser entendida como una técnica avanzada para la:

- Cartografía de propiedades o clases de suelo primarias. En esta etapa es necesario establecer un modelo de inferencia espacial.
- Cartografía de propiedades secundarias (derivadas de las primarias). En esta etapa es necesario establecer modelos de inferencia espacial y de inferencia de la propiedad.
- Cartografía de las funciones y/o amenazas del suelo. Para esto, el cartógrafo tiene primero que mapear las propiedades del suelo (primarias y/o secundarias) y debe tener acceso a los datos externos del suelo (como comportamiento antrópico, manejo de la tierra, clima, etc.).

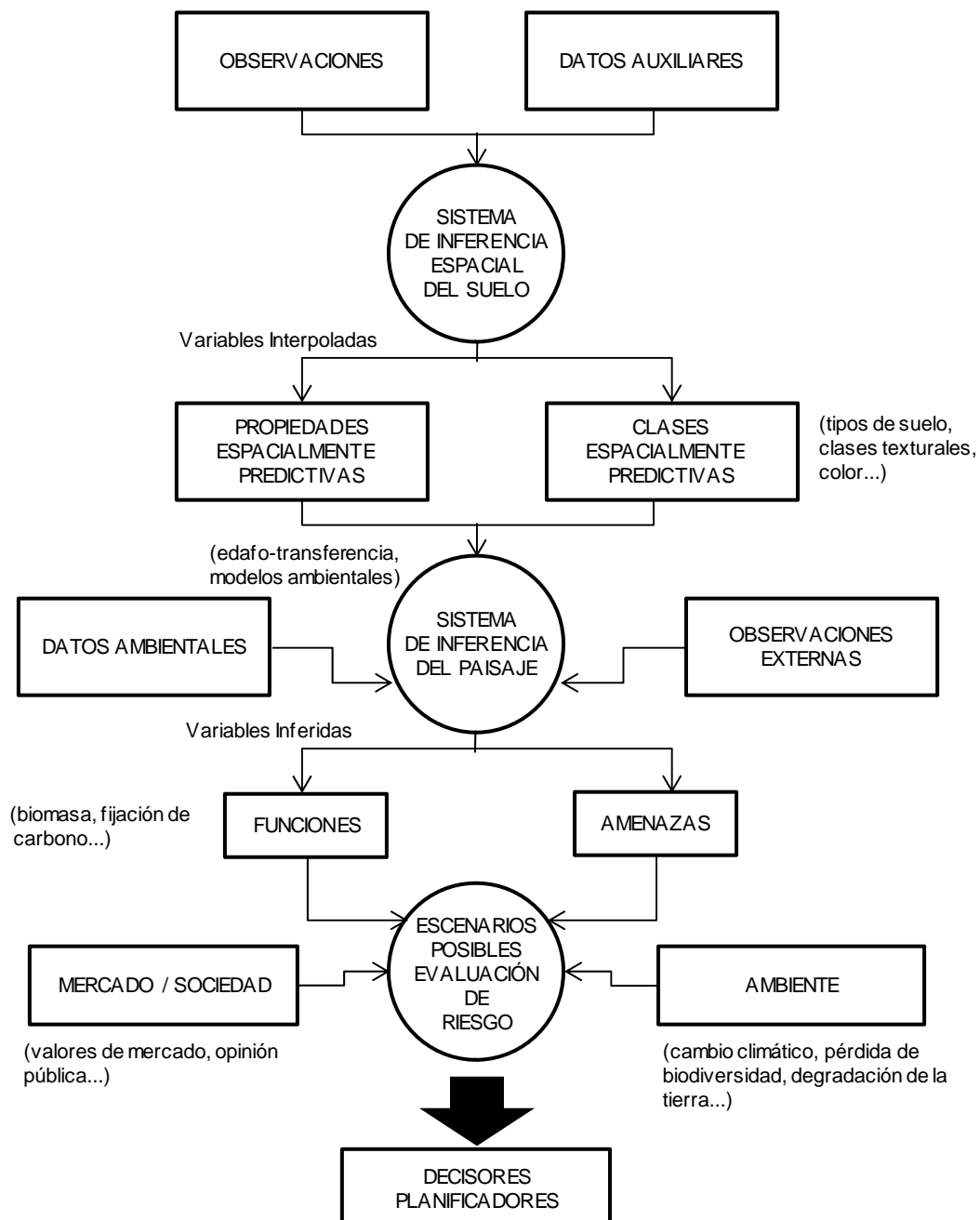


Figura 1. Etapas de la Cartografía Digital de Suelos (CDS) para los decisores/planificadores del recurso suelo.

Típicamente existen cuatro grupos de información auxiliar de los suelos que comprenden al clima, organismos, relieve, material parental y tiempo (*Jenny Equation*). McBratney et al. (2003) agregaron a esta lista la localización geográfica de los perfiles de suelo y las características disponibles del suelo que demuestran la correlación con las que se estimará. Éstas son las entradas principales de un modelo estadístico - también conocido como SCORPAN - usado para predecir variables del suelo, donde:

- S: **Soil**, other or previously measured properties of the soil at a point.
- C: **Climate**, climatic properties of the environment at a point.
- O: **Organisms**, including land cover and natural vegetation or fauna or human activity.
- R: **Relief**, topography, landscape attributes.
- P: **Parent material**, lithology.
- A: **Age**, the time factor.
- N: **Spatial or geographic position**.

SCORPAN es un modelo conceptual de la inferencia espacial del suelo. En la práctica, se trabaja con imágenes satelitales y/o mapas de diversas metodologías y fuentes. Una técnica común espacial de la predicción que se puede utilizar para aplicar el modelo SCORPAN es la regresión-kriging (Figura 2), que se emplea para ilustrar el flujo general de datos a través del sistema y para estimar los parámetros desconocidos del suelo. Estos modelos asumen que hay una relación estocástica entre las variables predictivas y las variables modelo, aunque puedan también ser utilizados para mejorar los modelos deterministas de la Génesis del suelo (Hengl et al., 2004).

Combinando técnicas convencionales de levantamiento (con datos de campo y de laboratorio), teledetección, y procesamiento y modelización de datos en SIG, el inventario de suelos está en condiciones de suministrar una valiosa información para el manejo de suelos, la planificación del uso de las tierras y la evaluación de los riesgos ambientales (Zinck, 2003).

Sin embargo, un gran esfuerzo técnico y económico se necesita realizar en el país para integrar todos los relevamientos de suelo existentes con el objetivo de presentar una base de datos coherente. La mayoría de la información disponible también necesita ser mejorada, para lo cual resulta necesario armonizar y estandarizar los métodos y diseños de gabinete, campo y laboratorio.

Hay tres fuentes principales de información auxiliar que se pueden utilizar para mejorar el detalle espacial y temático de mapas existentes: a) imágenes de sensores remotos, b) imágenes topográficas y c) mapas temáticos auxiliares.

Los parámetros derivados de los productos DEM (*Digital Elevation Model*) pueden ser utilizados para cuantificar la morfología del terreno (suelo-paisaje), por ejemplo para evaluar la acumulación y depositación potencial, o para ajustar la influencia de factores climáticos sobre el terreno local. El uso de técnicas de percepción remota, requiere de una estrategia aplicable que no sea tan dependiente de manifestaciones locales de disturbios naturales y/o antrópicos. Sería entonces preferible monitorear las causas y no las consecuencias del deterioro ambiental. Esta estrategia a juicio del autor, requiere del uso de modelos, a diferentes resoluciones (espaciales, temporales, espectrales y radiométricas), para observar y monitorear el significado de las variables del paisaje agredido (del Valle, 2003). Es particularmente importante prestar atención a las propiedades del suelo superficial que puedan afectar los cambios de la vegetación directamente o indirectamente. No obstante, la habilidad de determinar el tipo de vegetación con precisión sigue siendo el objetivo principal en percepción remota, ya que la degradación de la tierra se manifiesta primariamente como un cambio en el estado vegetativo del paisaje.

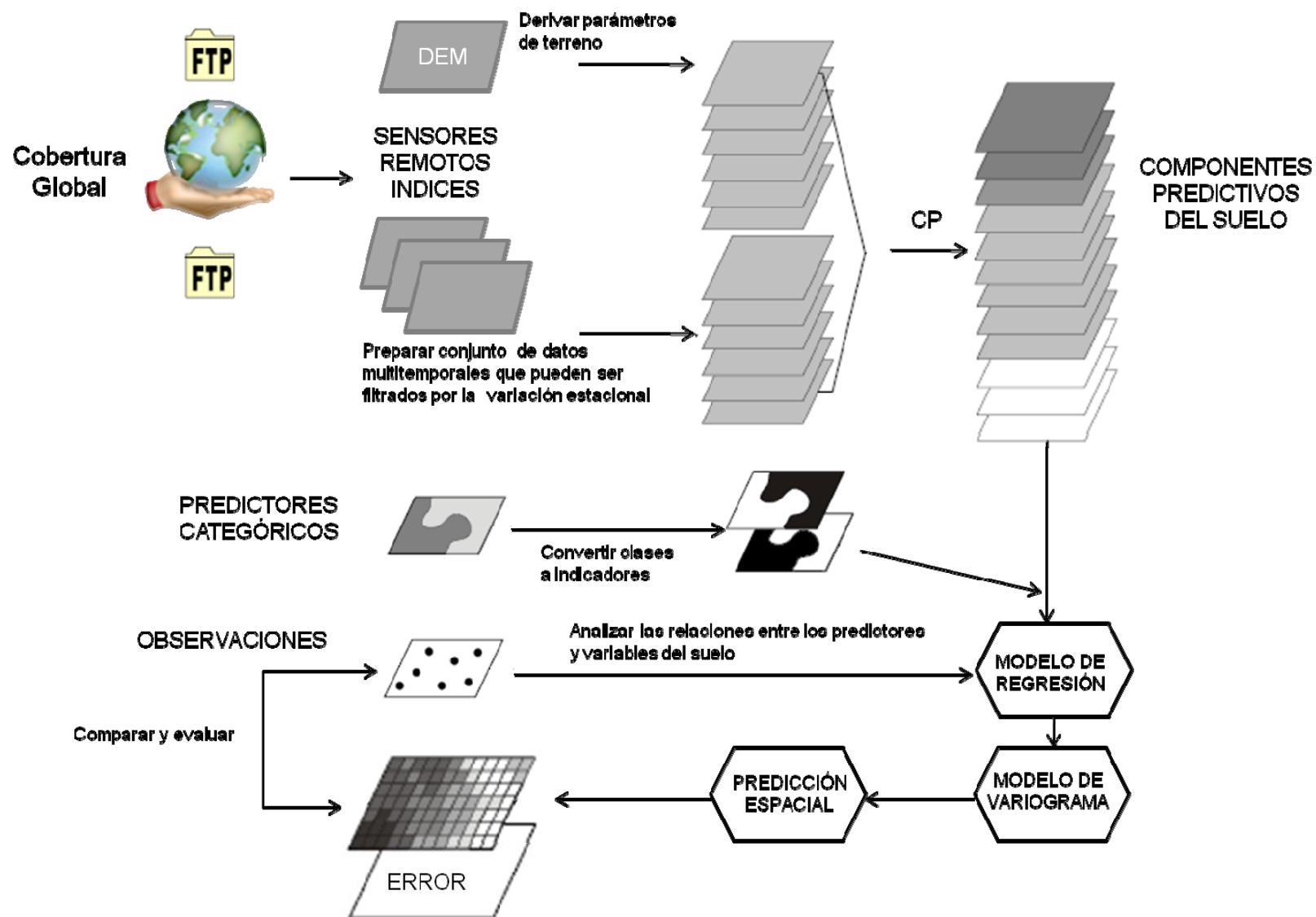


Figura 2. Ejemplo del flujo de datos usados para interpolar variables de observaciones del perfil de suelo usando información auxiliar (modelo regresión-kriging). DEM: *Digital Elevation Model* (Modelo de Elevación Digital). Índices de Sensores Remotos (de Vegetación, Suelos, Humedad). CP: Componentes Principales (técnica utilizada para la reducción de variables).

## **Tipos de Sistemas de Información Geográfica (SIG)**

En función del modelo de datos, podemos distinguir tres grandes grupos de SIG: Vectoriales, Raster y Orientados a Objetos. En realidad, la mayor parte de los sistemas existentes en la actualidad pertenecen a los dos primeros grupos.

Los vectoriales utilizan vectores (puntos, líneas, polígonos), para delimitar los objetos geográficos, mientras que los raster utilizan una retícula o malla regular de pequeñas celdas (a las que se denomina píxeles) para documentar los elementos geográficos que tienen lugar en el espacio. Para tener una descripción precisa de los objetos geográficos contenidos en la base de datos el tamaño del pixel ha de ser reducido (en función de la escala), lo que dotará a la malla de una resolución alta. Sin embargo, a mayor número de filas y columnas en la malla (más resolución), mayor esfuerzo en el proceso de captura de la información y mayor costo computacional a la hora de procesar la misma. El modelo de datos raster es especialmente útil cuando tenemos que describir objetos geográficos con límites difusos, como por ejemplo puede ser la dispersión de una nube de contaminantes, o los niveles de contaminación de un acuífero subterráneo, donde los contornos no son absolutamente nítidos; en esos casos, el modelo raster es más apropiado que el vectorial.

En cuanto a los Orientados a Objetos, no existe una definición clara ni un acuerdo general en la comunidad de usuarios, pero sí existe unanimidad en cuanto a las características que debe tener (Lohfink et al., 2007). En primer lugar, plantean un cambio en la concepción de la estructura de las bases de datos geográficas; mientras los modelos de dato vectorial y raster estructuran su información mediante capas, los sistemas orientados a objetos intentan organizar la información geográfica a partir del propio objeto geográfico y sus relaciones con otros. De este modo, los objetos geográficos están sometidos a una serie de procesos y se agrupan en clases entre las cuales se da la herencia. En segundo lugar, introducen un carácter dinámico a la información incluida en el sistema, frente a los modelos de datos vectoriales y raster que tienen un carácter estático. Por ello, el modelo orientado a objetos es más aconsejable para situaciones en las que la naturaleza de los objetos que tratamos de modelar es cambiante en el tiempo y/o en el espacio. Sin duda alguna, este modelo de datos es más aconsejable que cualquier otro para trabajar con datos geográficos, pero se encuentra con dificultades de implementación en las actuales bases de datos de nuestro país.

La clasificación digital orientada al objeto en las imágenes satelitales consiste en el procedimiento mediante el cual los objetos de las imágenes son asociados a sus correspondientes clases temáticas. El primer paso en la clasificación orientada a objetos es segmentar las imágenes para la obtención de los objetos y además establecer una jerarquía a diferentes escalas. Con esto se pretende definir de la manera más correcta posible los objetos que se quieren clasificar (Blanco et al., 2008).

## **Reflexiones finales**

En las últimas décadas, los avances significativos en informática permiten actualmente que la información espacial compleja pueda ser almacenada, manejada y analizada a satisfacción de un creciente número de profesionales de geociencias. Sin embargo, en la Argentina, la cartografía digital todavía es algo muy lejano de alcanzar. No existen suficientes datos ambientales como para proporcionar información útil al público en general, como así también se observa la falta de convergencia en formatos estándares de datos, en modelos de datos, en prácticas digitales de cartografía, y en técnicas de captura de datos de campo.

Es importante construir una base de datos que sea útil y que pueda ser utilizada por aquellas personas que utilizan bases de datos existentes y que sean similares. Aquí el mayor énfasis es en la correcta estructuración de la base de datos de los atributos. Es necesario discutir aspectos prácticos como los relacionados a los problemas geométricos causados por las diversas fuentes de datos. Un párrafo especial merece lo que son los Metadata, es decir, los datos que

describen la base de datos adecuadamente estructurados para mapas digitales (a modo de ejemplo véase <http://ncgmp.usgs.gov/ngmdbproject/standards/metadata/metaWG.html>). El informe contiene enlaces con herramientas de creación de metadatos y discusiones generales (ver por ejemplo, las herramientas de creación de metadatos, "Metadata in Plain Language" - Metadatos en Lenguaje Sencillo - y otra información útil en <http://geology.usgs.gov/tools/metadata/>). Finalmente, habría que implementar ejemplos de base de datos en el entorno del software independiente (*open source*).

## Bibliografía

- Canadian Environmental Advisory Council (CEAC). 1991. A protected areas vision for Canada. Environment Canada, *Minister of Supply and Services Canada*, Ottawa, Ontario, Canada.
- Blanco P.D., Metternicht G. y del Valle H.F. 2008. Improving the discrimination of vegetation and landforms patterns in sandy rangelands: a synergistic approach. *International Journal of Remote Sensing* (en prensa).
- Bosque Sendra J. y Zamora Ludovic H. 2002. Visualización Geográfica y nuevas Cartografías. *GeoFocus* (Artículos), nº 2, p. 61-77.
- del Valle H.F. 1998. Patagonian soils: A regional synthesis. *Ecología Austral*, 8:103-123.
- del Valle H.F. 2003. Degradación de la tierra en la Patagonia Extrandina: Estrategias de la Percepción Remota. En: E. Abraham, D. Tomasini y P. Maccagno (Eds.), pp. 145-160, Desertificación: Indicadores y puntos de referencia en América Latina y el Caribe. IADIZA-LaDyOT, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Ambasciata D'Italia (Buenos Aires), GTZ (Cooperación Técnica Alemana) y Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y la Sequía. *Zeta Editor* (Mendoza, Argentina).
- del Valle H.F. 2008. Problemas y tendencias obligadas de la Ciencia del Suelo en la cartografía y monitoreo. Conferencia. *XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*, Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo (AACCS), Potrero de los Funes (San Luis), 13 al 16 de Mayo de 2008.
- Dobos E., Carré F., Hengl T., Reuter H.I. y Tóth G. 2006. Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. *Office for Official Publications of the European Communities*, Luxemburg.
- Hengl T., Heuvelink G. y Stein A. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging. *Geoderma* 122(1-2):75-93.
- Jensen J.R. 2007. Remote Sensing of environment: An earth resource perspective, 2<sup>nd</sup> Ed., Upper Saddle River, N.J. *Prentice Hall*. 592 pp.
- Kraak M.J y Ormeling F.J. 1996. Cartography visualization of spatial data. London, *Addison Wesley Logman*.
- Lalonde R. y Jackson E.L. 2002. The new environmental paradigm scale: Has it outlived its usefulness? *Journal of Environmental Education* 33(4):28-36.
- Lohfink A., Carnduff T., Thomas N. y Ware M. 2007. An object-oriented approach to the representation of spatio temporal geographic features. *Proceedings of the 15<sup>th</sup> annual ACM international symposium on Advances in Geographic Information Systems*. Seattle, Washington, <http://doi.acm.org/10.1145/1341012.1341058>.

- McBratney A.B., Mendoça Santos M.L. y Minasny B., 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117(1-2): 3-52.
- Metternicht G. 2006. Consideraciones acerca del impacto de Google Earth en la valoración y difusión de los productos de geo-representación. *GeoFocus* (Editorial), nº 6, p.1-10.
- Moreno A. 2004. Nuevas tecnologías de la información y revalorización del conocimiento geográfico. *Scripta Nova*, Vol. VIII, núm. 170 (62). <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-170-62.htm>
- Scott W. 2002. Editorial: Minds, gaps, models, and behaviours. En: *Environmental Education Research* 8(3):3 pp.
- UNESCO, 2005. Plan de aplicación internacional (Proyecto) del Decenio de las Naciones Unidas de la Educación para el Desarrollo Sostenible 2005-2014. París, 60 pp. Disponible en: [http://portal.unesco.org/education/es/ev.php-URL\\_ID=27234&URL\\_DO=DO\\_TOPIC&URL\\_SECTION=201.html](http://portal.unesco.org/education/es/ev.php-URL_ID=27234&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html)
- Zinck, J.A., 2003. Soils information and society. Valedictory Address. *ITC*, Enschede, The Netherlands, 18 pp.