



Aspectos conceptuales preliminares

A continuación, se presentan algunas definiciones y conceptos que servirán como base teórica de este libro. No se pretende una exposición exhaustiva de todas las definiciones y enfoques existentes, mucho menos abordar discusiones sobre su validez o pertinencia. Al contrario, son conceptos necesarios para fundamentar y estructurar el desarrollo metodológico para la toma de decisiones aplicada a la planificación minera. De forma general, se toman como marco conceptual las definiciones relacionadas con los sistemas de información geográfica (SIG), los sistemas de apoyo a la toma de decisiones (SAD) y los sistemas de apoyo a la toma de decisiones espaciales. Este último, como se espera mostrar más adelante, resultado de la integración de los otros dos sistemas.

1.1.1 Sistemas de información geográfica

Existe una gran variedad de propuestas relacionadas con la definición de sistemas de información geográfica, que han sido recogidas por diferentes autores, como Balterme (2012) y Escolano Utrilla (2015). En general, estas definiciones suelen involucrar los componentes de un SIG y los tipos de procesos que se pueden realizar sobre los datos espaciales, complementadas en algunos casos con referencias a la necesidad de contextos institucionales u organizacionales para su implementación. Un ejemplo de estas definiciones es la publicada por el Servicio Geológico de los Estados Unidos en su página de internet:

Un sistema de información geográfica es un sistema informático capaz de capturar, almacenar, analizar y mostrar información referenciada geográficamente; es decir, datos identificados según la ubicación. Los profesionales, que trabajan con este tipo de sistemas, también incluyen en la definición el conjunto de procedimientos, el personal operativo y los datos espaciales que entran en el sistema. (USGS, 2017)

En la siguiente ilustración se esquematizan los componentes funcionales de un SIG, propuestos por Huisman y De By (2009), además de las transferencias de datos e información que se presentan entre ellos.



Figura 1. Componentes funcionales de un SIG.

Fuente: adaptado de Huisman y De By (2009)

De estos componentes, el de manipulación y análisis de datos espaciales es el que se considera básico para el desarrollo metodológico que se presentará en los siguientes capítulos. Por lo que, a continuación, se exponen las definiciones de *análisis espacial* y *modelado cartográfico*.

› *Análisis espacial*

Las siguientes son tres nociones sobre análisis espacial:

Es el proceso de examinar las ubicaciones, los atributos y las relaciones de los datos espaciales a través de la superposición y otras técnicas analíticas, con el fin de abordar una pregunta u obtener conocimiento útil. El análisis espacial extrae o proporciona nueva información a partir de datos espaciales (Environmental Systems Research Institute Inc., 2017a).

Es un conjunto de métodos cuyos resultados cambian cuando también cambian las localizaciones de los objetos que están siendo analizados. El análisis espacial permite revelar lo que, de otra forma, podría ser invisible (Longley, Goodchild, Maguire & Rhind, 2005).

Es el término genérico para referirse a todas las manipulaciones de datos espaciales realizadas para mejorar nuestro entendimiento del fenómeno geográfico que representan los datos (Huisman & de By, 2009).

› *Modelado espacial o cartográfico*

Es una metodología o un conjunto de procedimientos analíticos utilizados para derivar información acerca de relaciones espaciales entre fenómenos geográficos (Environmental Systems Research Institute Inc., 2017b).

El modelado espacial se caracteriza por considerar múltiples etapas, tal vez representando diferentes instantes en el tiempo, la implementación de ideas e hipótesis y la realización de pruebas con diferentes políticas y escenarios (Longley et al., 2005).

1.1.2 Sistemas de apoyo a la toma de decisiones

Un sistema de apoyo a la toma de decisiones puede ser entendido, de acuerdo con la definición dada por Filip (2008), como un sistema de información antropocéntrico, adaptativo y evolutivo, que pretende implementar las funciones de un equipo de humanos encargado de la toma de decisiones, para ayudar al responsable de estas a superar sus límites en la búsqueda de soluciones a problemas complejos. Los principales componentes de un sistema de apoyo a la toma de decisiones son los subsistemas de administración de datos, administración de modelos y la interface de usuario (Turban, Aronson, & Ting-Peng, 2004).

Uno de los modelos ampliamente utilizados en este tipo de sistemas es el proceso de análisis jerárquico. Esta es una técnica matemática para la toma de decisiones, propuesta por Saaty (1990, 2008, 2013), que descompone problemas complejos en componentes más simples. Cada uno de los componentes se organiza en una estructura jerárquica, siendo el nivel superior de la estructura el objetivo de decisión. El proceso de análisis jerárquico considera las siguientes actividades (2008, 2013):

- ◆ Definir el problema y establecer claramente el tipo de conocimiento que se desea alcanzar.
- ◆ Establecer una estructura jerárquica, estando en el nivel más alto del objetivo de decisión y seguido de los niveles intermedios.
- ◆ Construir las matrices de comparación por pares necesarias para cada nivel. Cada elemento en el nivel superior es utilizado para establecer los elementos para comparar en el nivel siguiente. La comparación entre elementos se lleva a cabo mediante una escala numérica de importancia.
- ◆ Utilizar las prioridades numéricas de la comparación por pares para ponderar los criterios en los diferentes niveles.
- ◆ Analizar la sensibilidad ante el cambio de juicios.

1.1.3 Sistemas de apoyo a la toma de decisiones espaciales

Corresponde a los sistemas informáticos integrados para abordar problemas espaciales estructurados y semiestructurados de forma

interactiva e iterativa. Incluyen funcionalidades para el manejo de bases de datos (espaciales y no espaciales), capacidad de modelado analítico, utilidades de apoyo a toma de decisiones (análisis de escenarios) y utilidades para la presentación efectiva de datos e información (Sugumaran & DeGroot, 2010). Por lo tanto y considerando las definiciones dadas para sistemas de información geográfica y para sistemas de apoyo a la toma de decisiones, los SADE son el resultado de la integración de estos dos tipos de sistemas.

1.2 Propuesta para la planificación de la minería

La propuesta para el desarrollo de una metodología para la planificación minera considera las definiciones y los conceptos escritos anteriormente. En primer lugar, se tiene como base principal de la propuesta la estructura de los componentes funcionales de un SIG presentada en la Figura 1. A esta estructura se le adicionan los componentes asociados con las etapas para desarrollar un modelo cartográfico (Escolano, 2015), los pasos para la implementación del proceso de análisis jerárquico (Saaty, 2008) y las características de un SADE (Sugumaran & DeGroot, 2010). Sin embargo, no se deben confundir con las etapas necesarias para la implementación de un SIG, ya que estas suelen estar enmarcadas en un contexto institucional y tienen un alcance mayor que el desarrollo de una aplicación específica.



Figura 2. Propuesta metodológica para la planificación minera.

En la Figura 2 se presentan los procesos generales para cumplir con el objetivo de este libro. En primer lugar se identifica y define el problema asociado con la explotación de minerales en el departamento de Boyacá, para lo cual se utiliza la técnica de proceso de análisis jerárquico. Enseguida, se planteará una sistematización del problema para identificar las variables espaciales relacionadas con este. Estos dos aspectos serán tratados en el capítulo 2.

Posteriormente, en el capítulo 3, se muestran las posibles fuentes de datos espaciales junto con sus procedimientos de adquisición. La metodología se implementa exclusivamente con la información secundaria proveniente de entidades gubernamentales. Dos formas de adquisición de datos son la descarga de portales en internet y la solicitud directa a la entidad que los produce. Una vez reunidos los datos, se estandarizarán y centralizarán en una base de datos espaciales para su posterior uso en la realización del modelo cartográfico.

En el capítulo 4 se exponen los modelos cartográficos y las herramientas de análisis espacial necesarias para la implementación de estos modelos. En el capítulo 5 se describen los análisis espaciales en el *software* ArcGIS, los *scripts*, en el lenguaje de programación Python y la forma de integrarlos para su uso, en *Arctoolbox*. Finalmente, en el capítulo 6 se describen ejemplos de los resultados que se pueden obtener de la implementación de la metodología.