

Aplicaciones de la teledetección al estudio del impacto de canteras^(*)

Por ISABEL DE LARA

Estudios Económicos y Energéticos S.A.

y JESUS SORIANO

Laboratorio Central de Estructuras y Materiales CEDEX-MOPU.

La teledetección permite obtener una amplia visión del terreno, una discriminación de litologías y estructuras, así como la evolución de la explotación a lo largo del tiempo, por lo que su aplicación conjunta con otros datos de campo, ofrece grandes posibilidades para la búsqueda y posterior explotación de carreteras, así como para el estudio del impacto que dichas instalaciones ejercen sobre el medio ambiente.

INTRODUCCION

El artículo quinto, número tres, de la Ley de Minas de veintiuno de julio de mil novecientos setenta y tres dispone que el Ministerio de Industria y Energía realizará los estudios oportunos para fijar las condiciones de protección del ambiente, que serán imperativas en el aprovechamiento de recursos objeto de esta Ley, y se establecerán, por Decreto, a propuesta del Ministerio de Industria y Energía previo informe de la Comisión Interministerial del Medio Ambiente.

Por ello, el Real Decreto 2994/1982, de 15 de octubre, sobre restauración de espacio natural afectado por actividades mineras, configura un sistema mediante el cual, en primer lugar, el titular de una solicitud de las previstas en la ley de Minas, debe presentar un Plan de Restauración del Espacio Natural, afectado por las labores.

El Plan debe de tener dos partes, dedicadas la primera a suministrar información sobre la descripción del lugar previsto para las labores mineras y su entorno, con información acerca del medio socioeconómico, ya que todo ello es necesario para ponderar la mayor o menor intensidad del Plan.

La segunda parte del Plan, debe de contener el proyecto de restauración propiamente dicho,

incluyendo las medidas previstas para la protección del paisaje, acondicionamiento de la superficie del terreno, prevención de la erosión y otros.

El presente trabajo trata de poner de manifiesto la aplicación de las técnicas de teledetección al desarrollo de la normativa anteriormente expuesta.

SISTEMAS DE TELEDETECCION

La Teledetección puede definirse como el conjunto de técnicas que permiten indentificar un objeto, sin contacto físico con él, mediante la energía electromagnética reflejada o emitida por el mismo. La zona del espectro electromagnético utilizada en Teledetección se extiende desde el ultravioleta a la región de las microondas, quedando la Teledetección excluida de los métodos geofísicos.

Para poder obtener un registro con cualquier dispositivo de sensores remotos, y en cualquier longitud de onda del espectro, será necesario:

- a) Una fuente de energía que proporcione fotones con energía propia y con longitud de onda constante.
- b) Una materia u objeto que interaccione a dichos fotones.
- c) Un medio de propagación de los fotones entre la materia y el detector.

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 28 de febrero de 1987.

- d) Un filtro espectral que absorba o refleje los fotones no deseados.
- e) Un sensor de energía que registre la llegada de dichos fotones.

De acuerdo con la fuente de energía cabe diferenciar sensores pasivos y activos. Los primeros utilizan la energía que aporta directamente la naturaleza (por ejemplo la reflectancia de la luz del sol o el calor de la tierra). Los sistemas activos utilizan fuentes artificiales de energía (los impulsos de radar, los destellos del flash o del láser, etc.).

Diferentes son los sensores adecuados para detectar la energía electromagnética en cada sector del espectro; en la región de rayos gamma y X: contadores Geiger-Muller, escintilómetros, espectómetros y otros detectores de ionización. En parte de la región de rayos X y en el espectro ultravioleta: equipos de barrido fotomultiplicadores y de fosforescencia. En el ultravioleta próximo, en la región visible y en el infrarrojo próximo: emulsiones fotográficas. Para las restantes regiones infrarrojas y especialmente para las regiones de $3,5 \mu\text{m}$ a $5,5 \mu\text{m}$ y de 8 a $14 \mu\text{m}$ (en las que existen ventanas atmosféricas): detectores térmicos o cuánticos, detectores de estado sólido y radiómetros. Y en la región de las microondas y ondas de radio: antenas y circuitos electrónicos, equipos de radar, técnicas de impulsos electromagnéticos, etc.

Normalmente en las regiones infrarrojas se trabaja en las «ventanas atmosféricas», en las cuales la energía radiante es libremente transmitida por la atmósfera. En otras regiones del espectro hay, sin embargo, longitudes de onda que pueden ser absorbidas por moléculas de CO_2 y de H_2O , por tal motivo es imposible trabajar en ellas.

Entre los equipos de registros por imagen, cabe diferenciar: la cámara fotográfica convencional aérea, la cámara panorámica, la cámara multibanda, el barrido mecánico óptico y el slar.

CAMARA MULTIBANDA

Obtiene fotografías simultáneas del objeto en varias bandas del espectro. En esencia dispo-

ne de un conjunto de objetivos con sus correspondientes filtros para obtener el máximo de información en una serie de franjas del espectro electromagnético.

BARRIDO OPTICO MECANICO

Son equipos diseñados para investigar la radiación infrarroja reflejada o emitida por la superficie terrestre.

El sistema requiere, básicamente, disponer de una emulsión o dispositivo sensible a la región del infrarrojo llamada normalmente «infrarrojo térmico». Para esto sería necesario una película y una cámara especial, pero esto no es económicamente factible. El instrumento utilizado es un detector con recubrimiento de material sensible al infrarrojo. Un espejo giratorio, cuya visión corresponde en cada instante sólo a una pequeña porción de terreno, recibe la energía dimanante desde él. Los fotones infrarrojos reflejados por este espejo, al chocar con el detector, generan una señal eléctrica de vídeo, cuya intensidad varía de acuerdo con la cantidad de energía térmica procedente de la parte de terreno visualizada por el espejo. La señal puede registrarse en banda magnética, o actuar como fuente de modulación de la señal producida por un tubo de rayos catódicos: en este caso el punto eléctrico aumenta o disminuye su luminosidad en proporción a la energía recibida. La imagen de este punto se registra en película fotográfica y se obtiene así un mapa térmico del terreno. La imagen se denomina termograma.

El barrido mecánico puede aplicarse al registro en cualquier banda del espectro, si bien lo normal es que trabaje en la región del infrarrojo térmico y de manera más concreta en sus «ventanas atmosféricas».

En general los vuelos para estos barridos se realizan a distintas horas del día y de la noche, para efectuar comparaciones de temperaturas.

RADAR

Una antena envía microondas. Cuando esta energía choca contra un objeto, parte de ella es reflejada en la antena. Como el objeto refleja-

do cambia en el tamaño, forma o material, estos cambios aparecen también en la imagen del radar. Esta representación reflejada del objeto es una función de dos conjuntos de parámetros: aquéllos que pertenecen al sistema mismo, que incluya longitudes de onda, polarización, y el ángulo de incidencia de la señal de radar; y aquéllos que pertenecen al objeto, que incluye la superficie áspera y la constante dieléctrica del material.

El radar es montado en un avión, este side-looking Airborne Radar (SLAR) produce continuas fajas de imágenes sobre el terreno, esta SLAR antena está fija y toma las direcciones perpendicular a la dirección del vuelo. Las imágenes son tomadas en películas o cinta magnética. Hay dos métodos de operaciones de SLAR: apertura real o sistema de apertura sintética. En el primer caso la energía de microondas es transmitida en pequeñas vibraciones con duraciones medidas en microsegundos. Las señales reflejadas desde los objetos son recibidas como una función de las variaciones del tiempo y por consiguiente de la distancia desde la antena y son convertidas en video señales según el tiempo y la amplitud de cada una de las respuestas de regreso de las señales de los objetos.

Para que dos objetos en la misma dirección puedan ser detectados individualmente, es necesario que sus señales reflejadas sean recibidas con tiempos diferentes por la antena. Si no hay diferencia en el tiempo, los objetos aparecerían como una entidad en la imagen.

Una alternativa que salva algunas de las limitaciones de los sistemas de apertura real es el radar de apertura sintética (SAR). El SAR usa una antena pequeña.

Donde las laderas excedan de los 35° y el relieve relativo sobrepase los 1.000 metros, la utilidad del SLAR es marginal.

Las microondas pueden penetrar en la atmósfera en todas las condiciones atmosféricas con la excepción de lluvias fuertes. El radar es un sensor activo que proporciona él mismo una fuente de iluminación por eso puede ser usado tanto de día como de noche.

BANDAS ESPECTRALES

Cada banda corresponde a una diferente longitud de onda dentro del espectro. El LANDSAT-5 tiene un sensor que recoge siete bandas espectrales que trabajan entre longitudes de onda de 0,45 y 12,5 micrones.

Cada una de las siete bandas está especialmente diseñada para diferentes aplicaciones, así tenemos:

- BANDA 1: Penetra en las masas de agua. Excelente para cartografiar aguas litorales.
- BANDA 2: Está diseñada para ver la reflectancia de los vegetales en la región verde del espectro. Indicativo de su vigor.
- BANDA 3: Discrimina tipos de vegetación.
- BANDA 4: Importante para cuantificar biomasa y delimitar masas de agua.
- BANDA 5: Diseñada para ver el contenido de humedad de la vegetación y del suelo. Diferencia la nieve de la nubes.
- BANDA 6: Banda ideada para cartografía térmica.
- BANDA 7: Elimina la vegetación y es buena para ver las estructuras geológicas y discriminar litologías.

El satélite francés SPOT podrá obtener los datos en tres bandas de color diferentes que varían entre el espectro visible y el infrarrojo cercano, con una resolución en tierra de 20 m., o también obtener imágenes pancromáticas en blanco y negro con una resolución en tierra de unos 10 m. El satélite lleva incorporado un espejo que gira, de tal forma que se pueden observar regiones que no tienen porqué estar en la vertical del satélite, pero deben de estar dentro de una faja de 950 km de ancho. Si solamente tuviésemos la mira vertical, tendríamos que esperar 26 días para tener dos observaciones de una misma región pero con la mira lateral aumentamos la frecuencia de las observaciones.

LA TELEDETECCION Y EL IMPACTO DE LAS CANTERAS

El artículo tercero del ya citado Real Decreto 2994/1982, de 15 de octubre, sobre restauración

de espacio natural afectado por labores mineras, establece que el Plan de Restauración contendrá, por una parte, información detallada sobre el lugar previsto para las labores mineras, así como las medidas previstas para la restauración del espacio natural afectado por la explotación.

A continuación nos referimos a las aplicaciones de la teledetección a las especificaciones descritas en el artículo tercero del, ya varias veces mencionado, Real Decreto 2994/1982.

1. Descripción del medio físico

La teledetección permite establecer las denominadas unidades de territorio, que, como es sabido, constituyen el primer paso en un proyecto de planificación regional y evaluación del impacto ambiental, ya que esta técnica, puede suministrar una serie de datos relativos a la geología, hidrología, hidrogeología, climatología, superficie vegetal y paisaje de la zona en estudio.

Así, y con respecto al estudio de los factores geológicos y geomorfológicos el tratamiento de la información suministrada por los satélites va a permitir la identificación no solo de diferentes unidades litológicas y estructurales, sino también el tipo de relieve de la zona de explotación de la cantera, lo que de ningún modo podría realizarse con la utilización convencional de la fotografía aérea.

Por otra parte, y dada la posibilidad de obtener información a lo largo del tiempo, esta técnica permite analizar un medio de gran dinámica como es el agua en todas sus formas. Así, es posible la obtención de datos sobre las características de las cuencas de drenaje de la zona, pérdida de aguas subterráneas, cartografías de zonas cubiertas por la nieve, contaminación producida por la explotación, etc.

Los datos suministrados por los satélites meteorológicos relativos a desplazamiento y altura de las nubes, temperatura de la superficie del mar, humedad de la troposfera y elaboración de un fichero climatológico, permiten establecer consideraciones sobre la vegetación, tonos de suelos y litología de la región en la que se va a situar la cantera.

Como es sabido, en principio, estos satélites fueron planificados pensando fundamentalmente en su utilidad agrícola, por lo que la información que recogen es la de la cobertura superficial que es, en definitiva, lo que interesa, con vista a la restauración, en un estudio de impacto de canteras.

Como ya hemos indicado anteriormente, este tipo de información, se obtiene mediante el empleo de las bandas espectrales que discriminan y resaltan los diferentes tipos de vegetación.

En cuanto al paisaje, esta técnica permite el estudio, a lo largo del tiempo, del contraste de formas motivada por la explotación, así como de la textura y del color de la zona de la cantera.

2. Medidas para la restauración

La información suministrada, y su posterior tratamiento, permite establecer modelos matemáticos de simulación que pueden suministrar una serie de parámetros de gran importancia para la restauración del entorno de una cantera una vez finalizada su explotación.

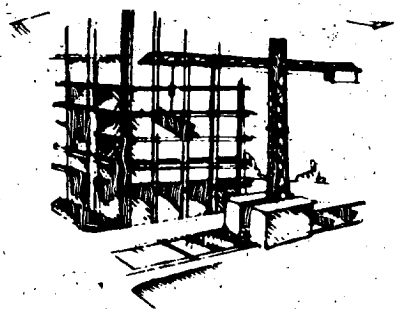
Entre estos parámetros, merecen destacarse, por su importancia, los siguientes: topografía final de la zona, modificación de la cuenca de drenaje, selección de zonas que, sin alterar la armonía del paisaje, sirvan para el almacenamiento de los residuos mineros, parámetros edafológicos y otra serie de datos que pueden, según los casos, ayudar a la restauración del impacto producido por la explotación de una cantera.

CONCLUSIONES

La teledetección permite obtener una amplia visión del terreno, una discriminación de litologías y estructuras, así como la evolución de la explotación a lo largo del tiempo, por lo que su aplicación conjunta con otros datos de campo, ofrece grandes posibilidades para la búsqueda y posterior explotación de canteras, así como para el estudio del impacto que dichas instalaciones ejercen sobre el medio ambiente.

BIBLIOGRAFIA

- AGUEDA, J. A.; CENDRERO, A.; ELIZAGA, E.; MARTIN-VIVALDI, J. A.; PUIGDEFABREGAS, C.: «Panorámica actual de la Geología Ambiental». I Congreso Español de Geología, 5, 99-124. 1984.
- ANTON-PACHECO, C.: «Las técnicas de teledetección: su evolución y aplicaciones a la Geología». I Congreso Español de Geología, 5, 357-377. 1984.
- BARRET, E.; CURTIS, L.: «Introduction to Environmental Remote Sensing». Chapman and Hall. London 1976.
- GARZON, G.; HERRANZ, P.: «La teledetección y el medio físico geológico». págs. 72-92 de Geología y Medio Ambiente, Monografía n.º 11 del CEOTMA. 1981.
- LINTZ, J.; SIMONET, D. S.: «Remote Sensing of Environmental». Addison-Wesley-Publishing Co., New York. 1976.
- MARTINEZ DE ARAGON, A.; HERRER, R.; LOPEZ, R.: «Les besoins d'information pour l'aménagement du territoire». págs. 42-53 du Seminaire Europeen Amenagement du Territoire et Teledetection. Toulouse. 1977.
- SIEGEL, B.; GILLESPIE, A.: «Remote Sensing in Geology». John Wiley and Sons. New York. 1980.



Isabel de Lara Fornos



Licenciada en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid en 1981. Ha realizado estudios geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos y geofísicos de diversas zonas de España y Francia. Especializada en el tratamiento de imágenes de satélites, ha colaborado con diversos organismos franceses y británicos, en la investigación de recursos naturales. Vocal de la

Junta de Gobierno del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos y directora de la revista El Geólogo. Miembro de la American Society of Photogrammetry.

Jesús Soriano Carrillo



Licenciado en Ciencias Geológicas por la Universidad Complutense de Madrid, en 1975, y Doctor en Ciencias Geológicas por la misma Universidad en 1978. Funcionario por oposición del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, con destino en el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales del citado Organismo. Miembro del Grupo de Aridos de la Co-

misión Permanente del Hormigón, así como de la Comisión Técnica CT-83 (Hormigones) del IRANOR y del Grupo de Trabajo GT-1 (Aridos) de la citada Comisión Técnica. Es autor de numerosos trabajos sobre la influencia de los áridos en la durabilidad del hormigón. Desde 1982 imparte, en la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense, el Curso Monográfico de Doctorado: Cristalografía y Mineralogía de Cementos Industriales.