

# “ÓPTICA MINERAL”: UNA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA EL ESTUDIO DE LOS MINERALES EN EL MICROSCOPIO PETROGRÁFICO

*“Optical Mineralogy”: A computer tool for the microscopic examination of minerals*

Juan Jiménez (\*) y Nicolás Velilla (\*\*)

## RESUMEN

Se presenta el sitio web “Óptica Mineral” con el objetivo de facilitar el aprendizaje de las propiedades ópticas de los minerales al microscopio y su empleo en la caracterización e identificación de minerales en lámina delgada. Tras resumir los fundamentos de las principales propiedades ópticas, se realiza una descripción del funcionamiento de las páginas web. Estas se encuentran estructuradas en cinco bloques: 1) una introducción, que incluye la descripción de los componentes del microscopio petrográfico; 2) una explicación de las propiedades ópticas y de su determinación; 3) una base de datos de minerales; 4) una guía para la identificación mineral y 5) una serie de ejercicios tutoriales sobre propiedades e identificación.

## ABSTRACT

We introduce the web site “Optical Mineralogy” to provide a tool for teaching and learning the optical properties of minerals, as well as aiding to the identification of minerals in rock thin sections. After including an explanation of the main optical properties of minerals, a detailed description of how web pages work is presented. The structure of the web site contains five parts: 1) an introduction including a description of the essential components of petrographic microscopes; 2) an explanation of optical properties and how can be determined; 3) a mineral data base; 4) a mineral identification guide and 5) tutorial questions about mineral properties.

**Palabras clave:** minerales, propiedades ópticas, base de datos, identificación mineral.

**Keywords:** minerals, optical properties, data base, mineral identification.

## INTRODUCCIÓN

La microscopía óptica es, indudablemente, la técnica fundamental para el reconocimiento de los minerales y la caracterización de las rocas.

Diversas razones justifican el uso de esta técnica, tales como: a) rapidez en la identificación de fases; b) posibilidad de identificar sustancias en mínimas proporciones; c) realización de estudios texturales; d) el precio de un microscopio petrográfico es modesto en comparación con otros instrumentos, y su coste operacional y de mantenimiento son mínimos.

Por todo ello, el estudio de los minerales mediante el microscopio es una materia tratada ampliamente en las asignaturas de Mineralogía de la titulación universitaria de Geología. Sin embargo, en las asignaturas geológicas de la enseñanza media y de las titulaciones universitarias de otras ciencias experimentales, la enseñanza de esta materia no se encuentra suficientemente extendida en estos casos. Entre las principales causas de esta situación se encuentran la base física compleja de algunas de las propiedades que se emplean en la identificación de los minerales,

la elevada densidad de las programaciones docentes y el hecho de contar con un número insuficiente de microscopios petrográficos en la mayoría de los laboratorios de prácticas. El desarrollo de aplicaciones informáticas de contenido didáctico (programas, sitios web, bases de datos) (ej.: Optical Mineralogy por D. Emley, G. Rowbotham y G. Lees, U.K. Earth Science Courseware Consortium, Reino Unido; The virtual microscope por D. Robinson, The Open University, Reino Unido; Mineralogy and Optical Mineralogy por M. Gunter, Univ. Idaho, Estados Unidos; Minerals under the microscope por C. Gladstone, Univ. Bristol, Reino Unido; Mineralia por N. Velilla, Univ. Granada; Mineralogía Óptica por C. Dorronsoro Díaz, B. Dorronsoro Díaz, Carlos Dorronsoro Fernández y A. García Navarro, Univ. Granada) debe contribuir a la extensión de la docencia de la mineralogía óptica. Con este fin, la actividad que se presenta propone y explica el uso del sitio web “Óptica Mineral” (<http://geologia.ujaen.es/opticaminerale>). Además, su diseño pretende ser al mismo tiempo una herramienta útil que pueda ser empleada por estudiantes y profesores de todos los niveles educativos para la identificación de los minerales al microscopio.

(\*) Departamento de Geología. Universidad de Jaén. Campus Universitario. Edificio B-3. 23071 Jaén.

(\*\*) Departamento de Mineralogía y Petrología. Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. Avenida Fuentenueva s/n. 18002 Granada



A continuación se resumen, en primer lugar, las propiedades empleadas para la identificación de los minerales mediante el microscopio petrográfico y, posteriormente, se analiza y explica la filosofía y funcionamiento del sitio web.

## IDENTIFICACIÓN MINERAL Y PROPIEDADES ÓPTICAS

La identificación de los minerales se realiza mediante el estudio de características tales como el hábito, exfoliación y maclas, y a través de sus propiedades ópticas. Estas propiedades son las relativas a la interacción de la luz visible con las sustancias y están determinadas, principalmente, por la composición química y por la estructura cristalina. La descripción que de estas propiedades aquí se presenta recoge las principales ideas de la bibliografía clásica sobre mineralogía óptica (Bloss, 1970; Ehlers, 1987; Gribble y Hall, 1992; Kerr, 1977; Nesse, 2003).

Como consecuencia de la anisotropía que presentan gran parte de los minerales, la propagación de la luz en los cristales puede variar fuertemente según las direcciones que se consideren. Si a ello unimos el hecho de que la luz normal, como otras radiaciones electromagnéticas, presenta un movimiento ondulatorio en el que las ondas vibran perpendicularmente a la dirección de propagación pero en diferentes planos, se comprende que la interpretación de la interacción de los cristales con la luz, la consideración de la dirección o de la orientación es absolutamente determinante. Esto implica la necesidad de dotar al microscopio de una fuente de luz polarizada (luz que vibra en un plano único), que se consigue mediante un filtro polarizador, y de una platina giratoria que permita orientar los minerales. Estas son las dos peculiaridades básicas del microscopio polarizante. Otros de sus elementos a destacar son la existencia de un segundo filtro polarizador colocado por encima de la platina (denominado analizador) y de una lente auxiliar (lente de Bertrand), ambos retraíbles. Estos dispositivos permiten analizar los efectos de interferencia de las dos ondas luminosas de diferente velocidad que se generan en el interior de los cristales anisótropos a partir de la onda polarizada incidente. La combinación de la lente ocular (10X) y de los objetivos (generalmente de 4X, 10X y 40X) permite cubrir un campo de aumentos comprendido entre 40X y 400X que es el adecuado para las determinaciones ópticas en cristales.

Para la observación de los minerales al microscopio de luz transmitida se requieren muestras que sean lo suficientemente delgadas para permitir el paso de la luz con un grado de absorción pequeño. Por ello, se cortan las rocas y se preparan, mediante procedimientos de abrasión, "láminas delgadas" de aproximadamente 2,5 cm x 4 cm y con un espesor estándar de 0,030 mm para el cual casi todos los minerales son transparentes.

A continuación, se enumeran y definen, de modo conciso, las propiedades ópticas utilizadas para la identificación mineral, agrupadas según los modos de observación en microscopía de luz transmitida.

1) Observaciones con un sólo polarizador:

- a) *Índice de refracción*: es la propiedad que relaciona la velocidad de propagación de la luz en el cristal respecto a la del vacío; la diferencia de valores de los índices de refracción de un mineral respecto al medio que lo rodea se traduce en la percepción de un mayor o menor grado de relieve.
- b) *Color*: la aparición de color es debida a la absorción selectiva por el cristal de determinadas longitudes de onda de la luz blanca; un cristal blanco transmite esencialmente todo el espectro visible, un mineral negro absorbe todas las longitudes de onda.
- c) *Pleocroísmo*: es la variación de color o de intensidad de color que puede experimentar un cristal al girar la platina del microscopio; se debe a la absorción diferencial de la luz polarizada según diferentes direcciones cristalográficas.

2) Visión ortoscópica. Se obtiene al colocar el polarizador y el analizador cruzados a 90° y con iluminación paralela:

- a) *Birrefringencia*: es la diferencia entre los valores de los índices de refracción mayor y menor que presenta un cristal anisótropo.
- b) *Color de interferencia*: el color que presenta un cristal anisótropo, entre polarizadores cruzados, como consecuencia de la interferencia y transmisión por el analizador de las dos ondas luminosas en que divide el cristal a la onda incidente.
- c) *Ángulo de extinción*: el ángulo que forman en un mineral determinadas direcciones cristalográficas (caras, exfoliación, maclas) con sus direcciones ópticas de vibración.
- d) *Signo de elongación*: relaciona la situación de las direcciones correspondientes a los diferentes índices de refracción de un mineral con su alargamiento morfológico.

3) Visión conosópica. Se consigue con el polarizador y el analizador cruzados a 90°, condensador de luz para obtener iluminación convergente y lente de Bertrand:

- a) *Figura de interferencia*: se forma por procesos complejos de interferencia de ondas en el cristal. Permite distinguir el tipo óptico de un cristal (clasificado como uniáxico o biáxico) y determinar su *signo óptico*, este último definido según las diferencias entre los valores de los índices de refracción principales del cristal.
- b) *Ángulo 2V*: es el ángulo que forman los dos ejes ópticos en cristales biáxicos. En algunas sustancias varía de modo significativo con la longitud de onda de la luz incidente (dispersión).

Algunos minerales resultan opacos aún en secciones muy delgadas (sulfuros y óxidos principalmente) y para su identificación microscópica es necesario utilizar la técnica de *microscopía de luz re-*



*flejada*, que se basa en el comportamiento de la luz polarizada al incidir perpendicularmente y reflejarse sobre la superficie de los minerales en muestras extremadamente pulidas. En este caso, las principales propiedades que se determinan son las siguientes: *reflectancia* (porcentaje de luz incidente que es reflejada por la superficie pulida del mineral), *color de reflexión*, *pleocroismo* de reflexión (variación del color al girar la platina sin el analizador insertado), *anisotropía* (existencia y variación de color con los polarizadores cruzados), *dureza* al pulido (se traduce en la existencia de relieve) y presencia de *reflexiones internas* en el cristal (manchas difusas que se producen en minerales que no son completamente opacos y en los que la luz penetra por debajo de la superficie y luego es reflejada).

## CARACTERÍSTICAS DEL SITIO WEB “ÓPTICA MINERAL”

### Justificación y fundamento

La comprensión y uso de las propiedades ópticas de los minerales se encuentra generalmente limitada por los medios disponibles en los laboratorios y el tiempo que se puede dedicar a su aprendizaje. Esta situación es especialmente relevante en la enseñanza secundaria y en la de nivel universitario fuera de la titulación de Geología. Así, en el diseño curricular actual de la enseñanza secundaria, los conocimientos geológicos deben impartirse en asignaturas de carácter más amplio que incluyen temas de otras disciplinas de las Ciencias Naturales (ej.: Biología y Geología en primero de Bachillerato y Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente en segundo de Bachillerato). Una situación paralela ocurre con la enseñanza de la Geología en titulaciones universitarias

de otras ciencias experimentales. Por ello, el tiempo disponible es empleado en dar una visión general de los conocimientos básicos de las principales Ciencias Geológicas, entre los que no suele contemplarse la identificación microscópica de los minerales. Este hecho puede deberse, en parte, a la escasez general de material didáctico que simplifique y haga atractiva para los estudiantes la enseñanza de esta disciplina. Consideramos que el desarrollo de este tipo de materiales resultará fundamental para realizar la adaptación al Espacio Europeo de Enseñanza Superior, debido a la reducción sustancial de la docencia presencial del profesorado y el fomento consecuente del trabajo personal de los estudiantes. De esta forma es necesario acometer el desarrollo de una metodología didáctica que permita obtener el objetivo de “aprender a aprender”. En esta línea, la herramienta informática que se presenta en este taller facilita el aprendizaje de las propiedades ópticas y su empleo en la caracterización e identificación de minerales. Su diseño pretende que pueda ser usada como una introducción a la mineralogía óptica en asignaturas de cursos superiores de enseñanza media con contenido geológico, asignaturas de Geología general de titulaciones universitarias de ciencias experimentales y asignaturas de Mineralogía de la titulación de Geología.

### Estructura y funcionamiento

La aplicación se estructura en cinco bloques principales (Fig. 1):

- 1) Introducción;
- 2) Propiedades ópticas;
- 3) Base de datos;
- 4) Identificación guiada y
- 5) Ejercicios tutoriales.



Fig. 1. Página inicial de Óptica mineral.



El diseño de las páginas permite desde cualquiera de ellas el acceso a cada uno de los bloques que componen el sitio. Además, se ha procurado proporcionar un elevado grado de interactividad mediante la inclusión de numerosas persianas que al desplegarse permiten introducir al usuario distintos tipos de datos.

1) *Introducción*: el primer bloque detalla los componentes de un microscopio petrográfico y la forma en que deben emplearse para la determinación de las propiedades ópticas que permiten identificar los minerales. Asimismo, se explica el procedimiento que se sigue para la elaboración de las preparaciones.

2) *Propiedades ópticas*: este bloque resume mediante esquemas e imágenes la base física de las principales propiedades ópticas y explica la forma de medirlas. Las propiedades han sido divididas en tres bloques: a) propiedades que describen aspectos morfológicos de los minerales; b) propiedades medibles con luz polarizada plana (sin analizador) y c) propiedades medibles con luz polarizada cruzada (con analizador). La barra lateral permite acceder a la explicación de todas las propiedades y pantallas sucesivas posibilitan la obtención de ejemplos y protocolos para su determinación (Fig. 2).

3) *Base de datos*: el tercer bloque consiste en una base de datos que contiene un conjunto de fichas de propiedades ópticas y una colección de imágenes de los minerales petrogenéticos. La base de datos ha sido estructurada en dos grupos principales: a) silicatos y b) otros minerales petrogenéticos. En la figura 3 puede observarse la página que contiene la información de los distintos grupos de silicatos. Al pulsar uno de los botones de la barra lateral aparece un menú desplegable que permite el acceso a la ficha correspondiente a cada uno de los minerales de ese grupo. Por otro lado, desde la página principal también es posible acceder a un menú desplegable con un listado alfabético de los minerales que componen la base de datos.

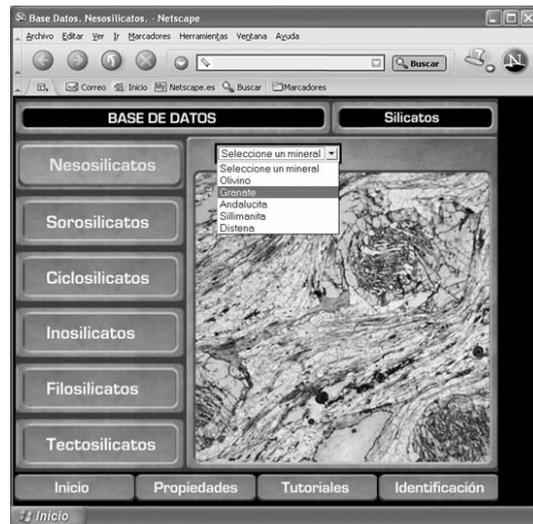


Fig. 3. Página web del bloque de base de datos.

4) *Identificación guiada*: el cuarto bloque permite realizar una identificación mineral guiada basada en las propiedades observadas en el microscopio. El diseño de este apartado de la aplicación permite introducir los valores determinados para las distintas propiedades ópticas de un mineral a través de una serie de menús desplegables (Fig. 4). Para comenzar la búsqueda es necesario disponer de la información de dos propiedades y pulsar el botón "Buscar", lo que produce la aparición de un listado de posibles minerales en una ventana de la pantalla. Pulsando sobre su nombre puede accederse a las imágenes y a la ficha de propiedades completa de estos minerales del bloque de base de datos de la aplicación. Cuanto mayor es el número de propiedades identificadas, se obtiene un listado menor de minerales.

5) *Ejercicios tutoriales*: por último, el programa contiene un apartado de ejercicios tutoriales basados

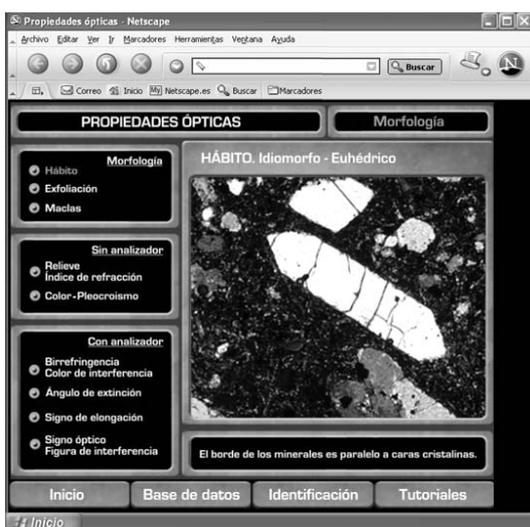


Fig. 2. Página web del bloque de propiedades ópticas.

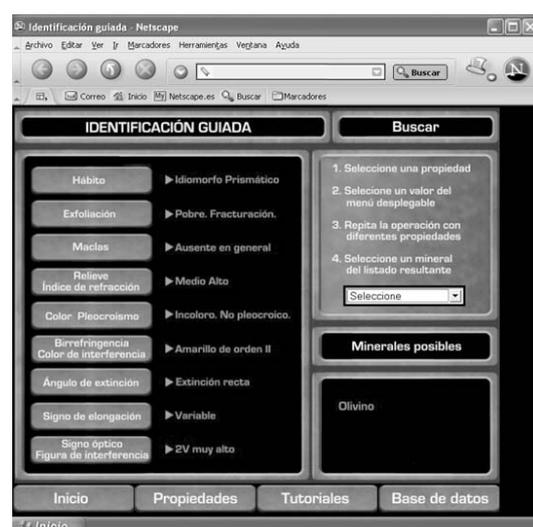


Fig. 4. Página web del bloque de identificación mineral.



en el uso de imágenes microscópicas (Fig. 5). Este bloque ha sido dividido en dos partes: a) ejercicios sobre la determinación de propiedades ópticas y b) ejercicios para la identificación de minerales. En ambos casos, los usuarios deben elegir los términos apropiados para resolver el ejercicio a través de los menús desplegables que aparecen en la figura 5. Este bloque resulta especialmente interesante ya que, sin necesidad de tener disponible un microscopio, contribuye a que el estudiante adquiera la metodología de trabajo básica en petrografía, evalúe su grado de conocimiento, e incremente sus habilidades para la identificación de los minerales en el microscopio.



Fig. 5. Página web del bloque de ejercicios tutoriales.

## CONCLUSIÓN

La escasa disponibilidad de tiempo o de instrumentación adecuada para la realización de ejercicios prácticos de mineralogía óptica en distintos niveles de enseñanza reclama el desarrollo de herramientas didácticas que permitan extender la docencia de esta materia. Internet ofrece la posibilidad de crear recursos informáticos fáciles de diseñar y de utilizar por un gran número de usuarios. En este taller se presenta una herramienta informática que facilita el aprendizaje de las propiedades ópticas y su empleo en la

caracterización de minerales. Sin embargo, es necesario manifestar claramente que esta aplicación no pretende sustituir el uso de los microscopios petrográficos en los laboratorios de prácticas de Mineralogía. Como prueba de ello, "Óptica Mineral" contiene un conjunto de ejercicios destinados a transponer los conocimientos adquiridos a preparaciones reales observadas al microscopio petrográfico.

## ALGUNAS APLICACIONES INFORMÁTICAS Y DOCUMENTOS DE INTERNET RECOMENDADOS

- Optical Mineralogy. D. Emley, G. Rowbotham, G. Lees. Univ. Keel. U.K. Earth Science Courseware Consortium. Reino Unido.

<http://www.ukescc.co.uk/products/optmin.html>

- The virtual microscope. D. Robinson. The Open University. Reino Unido.

<http://met.open.ac.uk/vms/vms.html>

- Mineralogy and Optical Mineralogy. M. Gunter. Univ. Idaho. Estados Unidos.

[http://www.webpages.uidaho.edu/~mgunter/opt\\_min/opt\\_min.html](http://www.webpages.uidaho.edu/~mgunter/opt_min/opt_min.html)

- Minerals under the microscope. C. Gladstone. Univ Bristol. Reino Unido.

<http://www.gly.bris.ac.uk/www/teach/opmin/mins.html>

- Mineralia. N. Velilla. Universidad de Granada.

- Mineralogía óptica. C. Dorronsoro D'az, B. Dorronsoro D'az, C. Dorronsoro Fernández y A. Garc'a Navarro, Univ. Granada.

<http://edafologia.ugr.es/optmine/index.htm>

## BIBLIOGRAFÍA

Bloss, F. (1970). *Introducción a los métodos de cristalografía óptica*. Omega. Barcelona.

Ehlers, E. (1987). *Optical Mineralogy*, Vols. 1 y 2. Blackwell Scientific. Oxford.

Gribble, C. y Hall, A. (1992). *Optical Mineralogy: Principles and practice*. UCL Press Ltd.. London.

Kerr, P. (1977). *Optical Mineralogy*, 4ª ed., McGraw-Hill. New York.

Nesse, W. (2003). *Optical Mineralogy*, 4ª ed. Oxford Univ. Press. Oxford. ■

