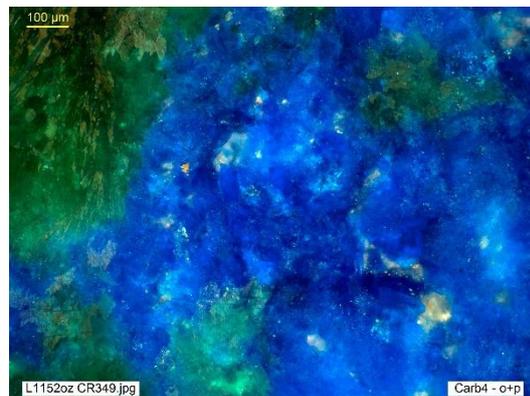
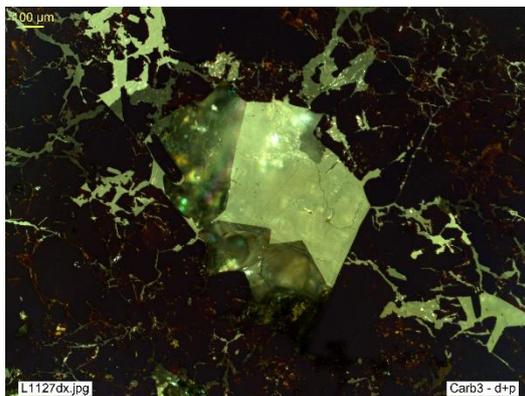
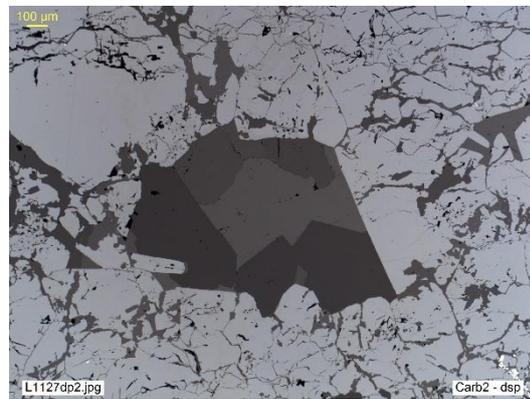
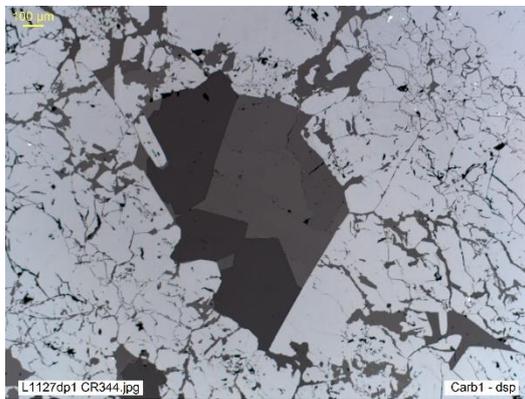


## GANGAS DE LA CLASE CARBONATOS Y BORATOS

### Carbonatos

El reino de los **carbonatos**, **Carb**, se extiende ante todo en el ámbito sedimentario y metamórfico, en el que calcita, **calc**, y dolomita, **dol**, son los componentes principales de calizas, dolomías y mármoles. Es mucho más escasa su presencia en las rocas ígneas, aunque llegan a ser componentes principales en las carbonatitas.

También pueden ser abundantes en ciertas rocas metasomáticas (calcosilicatadas) y filones hidrotermales, así como en los yacimientos minerales relacionados (skarn, sistemas epitermales, etc.). De ahí la presencia de algunos carbonatos (sobre todo calcita y dolomita, pero también ankerita, malaquita, rhodocrosita, etc.) como minerales de ganga relativamente frecuentes e incluso, si el tonelaje y la ley son suficientes, como menas de algunos metales (Cu, Zn, Fe, Mn, TR o REE...).

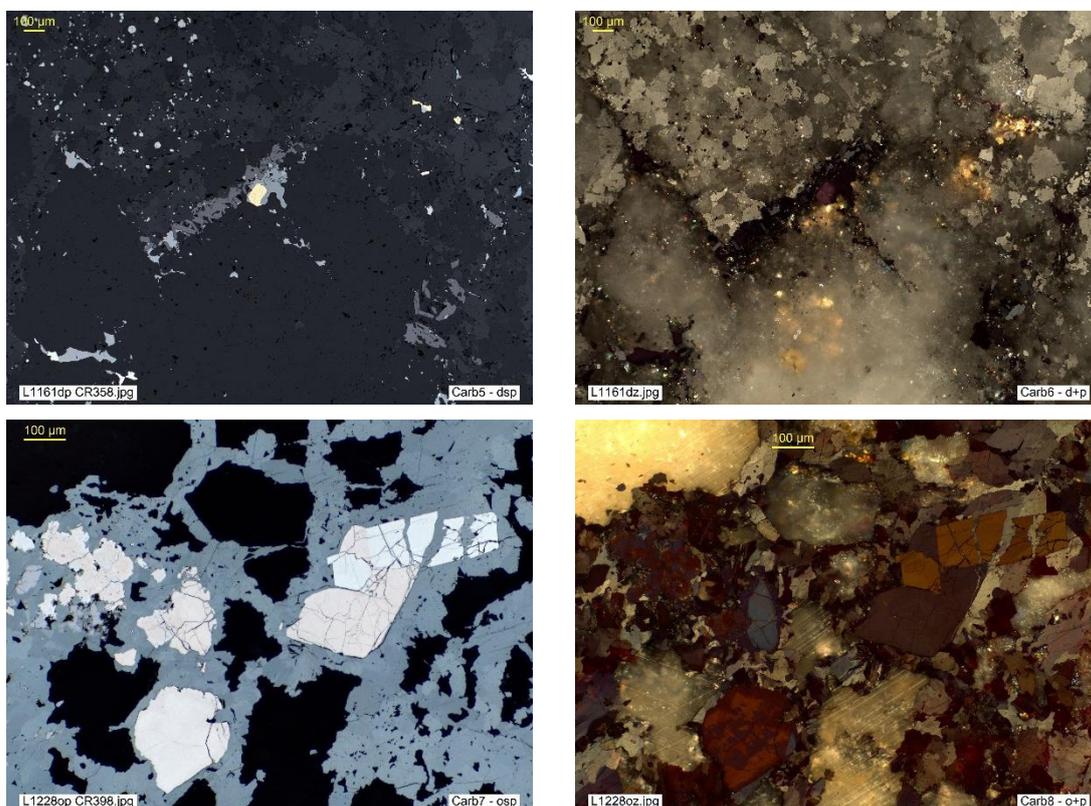


**F Carb1** y **F Carb2** (Misma escena, rotando la platina 90° entre una y otra). Microgeoda rellena de **q** (gris oscuro, euhédrico) y **Carb** (**calc**: gris algo más claro, anhédrico), en agregado cristalino de alabandita **alb** (gris muy claro, subhédrico) con espacios intersticiales rellenos por los mismos minerales. El cambio de nivel de gris en **Carb** al rotarlo (**comp.** F Carb1 y -2) denota su birreflectancia. CR 344, Inakuraishyi Mine, Hokkaido, Japón (**dsp**).

**F Carb3** (Misma escena que **F Carb2**, **d+p**). Anisotropismo y **RI** de **Carb**, frente al escasamente perceptible anisotropismo de **q** y extinción, con escasas **RI**, de **alb**.

**F Carb4**. Mena oxidada de Cu (azurita **az**, malaquita **mch**): las **RI** de **mch** (verdes) y de **az** (azules) son tan intensas y luminosas que difuminan los contornos de los granos. CR 349, Grand Gulch, Coconino Co., Arizona, USA (**o+p**).

La clasificación del mineral en uno u otro de los tres grupos estructurales definidos para los Carb (el de la calcita y el de la dolomita, trigonales; el del aragonito, ortorrómbico) es irrelevante desde el punto de vista de su reconocimiento por luz reflejada, por lo que se prescinde de ella y en lo que sigue se hablará sólo de las especies frecuentes en yacimientos metálicos.



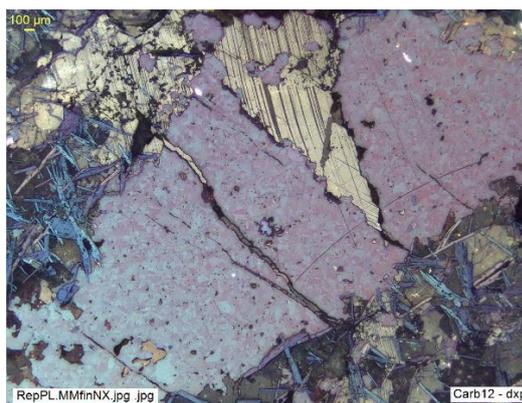
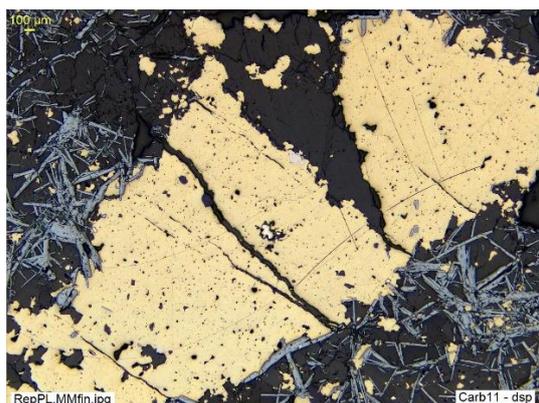
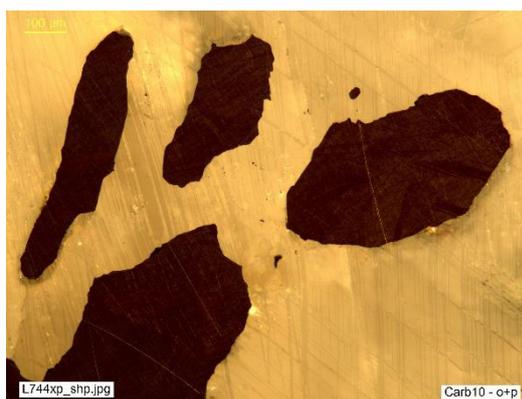
**F Carb5** y **F Carb6** (Misma escena: *dsp* y *d+p*, resp). Mena aurífera (Au, centro), con tetraedrita, ilmenita, pirita y telururos (coloradoita, calaverita), en ganga cuarzo-carbonatada brechoide. La birreflectancia, el anisotropismo y las RI son bien visibles en el gran clasto carbonatado que ocupa el cuarto sup izq de la imagen. CR358, Oroya-Brownhill Mine, Kalgoorlie, Australia. (*d+p*)

**F Carb7** y **F Carb8** (Misma escena: *osp* y *o+p*, resp). Mena filoniana argentífera, con miargirita (gris) que cementa y corroe relleno temprano de arsenopirita (blanca) y ganga (negra) de carbonato y cuarzo, brechoides. En la ganga, que en inmersión (*osp*) ha desaparecido (se ve toda negra, *osp*), se observa con analizador (*o+p*), a pesar de las abundantes RI, la aparición del típico anisotropismo y maclas polisintéticas del carbonato: calcita, a juzgar por su baja reflectancia (color negro, como el cuarzo: *osp*). CR398, Hiendelaencina, Guadalajara.

La descripción de Carb se ha desglosado entre **menas** (azurita, *az*; bastnäsita, *bst*; malaquita, *mch*) y componentes de **ganga** (*gg*, el caso común). Es sabido, no obstante, que la distinción entre mena y ganga no es estrictamente mineralógica, sino que depende de criterios económicos y éstos, de la evolución de los mercados. Por tanto, la adscripción de un mineral a una u otra categoría puede cambiar en el tiempo:

- Así la rhodocrosita, tratada ahora como ganga por presentarse como tal en yacimientos epitermales de metales preciosos, ha sido una mena importante de Mn (e.g. en Butte, Montana, USA), se considera la mena principal en Molango, México, y se beneficia actualmente como roca ornamental (*vbgr*. Mina Capillitas, Argentina).

- Lo mismo podría decirse de siderita, típica de las Facies *Carbonate Iron Formation* en las Formaciones Bandeadas de Hierro (BIF) y ganga frecuente en muchos filones hidrotermales (e.g. Coeur D'Alene, Idaho, USA), explotada hasta no hace mucho como mena de Fe en otras formaciones (e.g. Bilbao, España).
- Asimismo, la cerusita, frecuente en la zona de oxidación de yacimientos de Pb, fue explotada en el pasado como mena (*white lead ore*) en Leadhills, Escocia, RU.



**F Carb9** y **F Carb10** (Misma escena: **osp** y **o+p**, resp). Mena argentífera (allargentum y eugenita, brillantes) con ganga carbonatada, probable calcita (negra, **osp**; RI y maclas, **o+p**). CR 324, Mina Bouismas, Bou Azzer (Marruecos).

**F Carb11** y **F Carb12** (Misma escena: **dsp** y **dxp**, resp). Mena de calcopirita (amarilla) brechoide, con hematites acicular (gris) y cemento de calcita con escaso cuarzo (ambos: gris oscuro, **dsp**). Con analizador, se identifica inmediatamente calcita por sus RI claras, anisotropismo y maclas de presión bien visibles. RepPL (031200g, Mina Maruxa, Moeche, Coruña).

Sólo los Carb considerados como ganga son objeto del presente apartado, pero antes de abordar su descripción individualizada es útil considerar algunas **características comunes a todos los carbonatos**, independientemente de que se consideren mena o gg. Se trata de propiedades fácilmente observables<sup>1</sup>, derivadas de su elevada birrefringencia, que permiten caracterizar, en

<sup>1</sup> Estas propiedades distintivas sólo pueden observarse si la resolución del microscopio es suficiente para distinguir los granos individuales y compararlos entre sí. En masas o agregados de carbonatos submicroscópicos o demasiado finos para individualizar netamente los granos, sólo se percibe el nivel de gris (reflectancia) y, con suerte, las RI o sus colores.

general, cualquier carbonato, sea cual sea su significado económico (mena o ganga) o su grupo estructural, y lo distinguen de la gg silicatada común:

- **birreflectancia** notable (F Carb1-2 y F Carb5; F rhc3 y F dol1), perceptible incluso con objetivo seco (en aire: *dsp*), siempre que el tamaño de grano sea suficiente para poder individualizar y comparar granos adyacentes con distinta orientación;
- **anisotropismo** neto (a pesar de la abundancia de **RI**, reflexiones internas, habitual en minerales transparentes: F Carb3, F Carb6, F Carb8, F dol2, F ank2); los efectos de anisotropismo, llamativos, pero poco coloreados, se ven generalmente mejor con objetivo seco y de pocos aumento (*d+p*), ya que en inmersión (*o+p*) se refuerzan las RI.
- **maclas** visibles (F Carb8, F Carb10), a veces incluso sin analizador (F ank1), por efecto de la notoria birreflectancia; en algunas especies (e.g. calcita), *maclas de presión* muy llamativas, polisintéticas (F Carb10 y F Carb12).

Por lo demás, los Carb comparten con los silicatos su carácter de minerales transparentes y, por tanto,

- su aspecto es el de una ganga anodina: por su color gris y escaso brillo se ven oscuros en general (F Carb 11, *dsp*), más frente a las menas comunes (F Carb1 y -2, F Carb11), mucho más todavía frente a metales nativos (Ag, Au, Fe, Pt, Bi, etc. F Carb5) y extremadamente oscuros o negros -prácticamente desaparecen- en inmersión (*osp*: F Carb7 y F Carb9);
- esta apariencia oscura es típica de los carbonatos menos refringentes como calcita (índice de refracción,  $n \approx 1.49$  a  $1.66$ ) o dolomita (*cf.* Tabla 3), pero no es tan acusada en los carbonatos más refringentes, como rhc, ank, sid, bst (F rhc1, F ank1) y sobre todo crs ( $n \approx 1.80$  a  $2.08$ , F crs1), cuya Reflectancia, **R**, es más alta. En efecto, aplicando la función de Fresnel (Tabla 2), resulta un valor estimado de  $R \approx 4.7\%$  para calc ( $n$  supuesto  $\approx 1.55$ ) y  $R \approx 9.6\%$  (más del doble) para crs ( $n$  supuesto  $\approx 1.90$ );
- muestran *abundantes RI*, reflexiones internas,
  - en general **incoloras** (F Carb3, F Carb6, F Carb8, F Carb10): calcita, *calc*; dolomita, *dol*; ankerita, *ank*; magnesita, *mag*; smithsonita, *sms*; cerusita, *crs*; bastnäsita, *bst*;
  - pero a veces **coloreadas** ligeramente (F rhc2 y F rhc4, F ank2): rhodocrosita, *rhc*; ankerita, *ank*; siderita, *sid*;
  - o **coloreadas** intensamente (F Carb4, *cf* también F az y F mch): azurita, *az*; malaquita, *mch*;

Los efectos de anisotropismo en sí no son coloreados, pero pueden parecerlo a causa de la elevada birrefringencia del Carb: cuando no son las mismas RI las que están coloreadas (como ocurre en mch, az o rhc), lo que se percibe en color son en realidad los colores de interferencia producidos por la polarización del haz luminoso derivado de las RI en su camino a través del interior del mineral hacia la superficie (F rhc4; *cf.* F bst6 y F bst8)

La **calidad del pulido** suele ser buena. Los carbonatos se pulen, en general, sin dificultad por su moderada dureza.

Teniendo en cuenta estos datos generales, se trata ahora de caracterizar por sus rasgos singulares las especies más comunes de Carb<sup>2</sup>.

**Calcita** (*calc*, CaCO<sub>3</sub>, trigonal) es el Carb más común y también el menos refringente, es decir, el de aspecto más oscuro (F Carb 11):  $R \approx 4.7\%$ , como el q o la resina. Este valor es un promedio estimado para R aplicando la fórmula de Fresnel, suponiendo un valor medio del índice de refracción  $n$  entre  $n_o$  y  $n_e$  (índices ordinario y extraordinario, resp), pero en realidad no hay en calc un valor único de  $n$ , sino un valor máximo ( $n_o = 1.658$ ) y otro mínimo ( $n_e = 1.486$ ) y, entre ellos, todos los valores intermedios correspondientes a las distintas orientaciones posibles del cristal.

Pese a su baja refringencia, la diferencia entre los valores  $n_o$  y  $n_e$ , es decir, la **birrefringencia** de calcita ( $\delta_{calc} = n_o - n_e = 0.172$ ) es elevada (Tabla 3). Y muy llamativa si se compara con la de los silicatos comunes de gg, como cuarzo, q: casi 20 veces menor ( $\delta_q = 0.009$ ). Consecuencia de esta fuerte birrefringencia de calc es su notoria **birreflectancia**: variación de R (o su equivalente subjetivo: el *brillo* percibido por el ojo del observador) con la orientación, por efecto de la fuerte birrefringencia del mineral. De ahí que, aunque su reflectancia sea muy baja (aproximadamente como la del cuarzo), se perciba netamente su birreflectancia. Esta propiedad, prácticamente diagnóstica de calcita, como en general de los demás Carb, se evidencia preferentemente en aire (objetivo seco: *dsp*; mejor con pocos aumentos), por la variación del nivel de gris entre granos contiguos, orientados al azar (F Carb1-2).

Tabla 3 – Gangas carbonatadas (\*):

| <b>Refringencia (n), Birrefringencia (δ) y Reflectancia estim. (R %, en aire)</b> |   |              |                                  |                                    |
|---|---|--------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Mineral   | $n_\omega$  | $n_\epsilon$ | $\delta = n_\omega - n_\epsilon$ | R (Reflectancia estimada, aire: d) |
| Calcita, <i>calc</i>  | 1.658   | 1.486        | 0.172                            | ≈ 4.7 %                            |
| Magnesita, <i>mag</i>   | 1.700   | 1.509        | 0.191                            | ≈ 5.3 %                            |
| Rodocrosita, <i>rhc</i>   | 1.816   | 1.597        | 0.219                            | ≈ 6.7 %                            |
| Smithsonita, <i>sms</i>   | 1.850   | 1.625        | 0.225                            | ≈ 7.2 %                            |
| Siderita, <i>sid</i>  | 1.875   | 1.635        | 0.240                            | ≈ 7.5 %                            |
| Dolomita, <i>dol</i>  | 1.679   | 1.500        | 0.179                            | ≈ 5.2 %                            |
| Ankerita, <i>ank</i>  | 1.690-1.750   | 1.510-1.548  | 0.182-0.202                      | ≈ 5.7 % (5.3-6.0 %)                |
| Cerusita, <i>crs</i>  | $n_\alpha = 1.803; n_\beta = 2.074; n_\gamma = 2.076$ |              | 0.273                            | ≈ 9.6 % (8.2-12.2 %)               |

(\*) **Datos** utilizados: índices de refracción ( $n$ ) y birrefringencia ( $\delta$ ) según Chang et al. (1998). Reflectancia en aire (R) calculada por la función de Fresnel para valores  $n$  estimados; en *ank* y *crs* se han calculado, además, los valores mínimo y máximo de R (entre paréntesis); las medidas publicadas en QDF3 para *crs* (546 nm, *dsp*: 8.3 % y 13.4 %, resp), son parecidas a las aquí estimadas.

**Grupos estructurales.** Minerales sin trama: carbonatos del grupo de la calcita; sombreados: grupo de la dolomita; trama punteada: grupo del aragonito (*crs*).

**Valores n:**  $n_\omega$  y  $n_\epsilon$ , índices de refracción de los rayos ordinario y extraordinario para los carbonatos romboédricos (equivalentes a  $n_o$  y  $n_e$  de Ramdohr, 1980, y otros autores);  $n_\alpha$ ,  $n_\beta$ ,  $n_\gamma$ , para cerusita, ortorrómbica.

<sup>2</sup> Para más información, es muy recomendable la magnífica síntesis de Ramdohr (1980, p. 1103 a 1109), con detallada exposición de las principales especies de Carb (*calc*, *dol*, *sid*, *rhc*, *sms*, *crs*, *mch* y *az*).

En inmersión (*osp*) es fácil que la birreflectancia pase *inadvertida*, ya que por su baja refringencia prácticamente desaparece el mineral, es decir, se ve casi siempre negro y entonces es difícil distinguir matices (F Carb7, F Carb9). Con todo, si bien el rayo extraordinario desaparece por completo ( $R_{e-oil} \approx 0$ ), el ordinario es visible todavía como un tenue velo, según hace notar Ramdohr (1980). En efecto, aplicando la función de Fresnel, resulta una reflectancia en inmersión (*osp*):  $R_{o-oil} \approx 0.25\%$ , pero para percibir esta tenue diferencia en un tan bajo nivel de gris, en el límite de la sensibilidad del ojo humano, se han de encontrar secciones con la orientación adecuada.

Con analizador (*d+p, o+p*), sus propiedades son las típicas de Carb. Es visible habitualmente el anisotropismo (F Carb3), a pesar de sus abundantes RI, incoloras y luminosas (F Carb3, F Carb8). Y son muy frecuentes en calc las maclas de presión, polisintéticas (F Carb8, F Carb10, F Carb12).

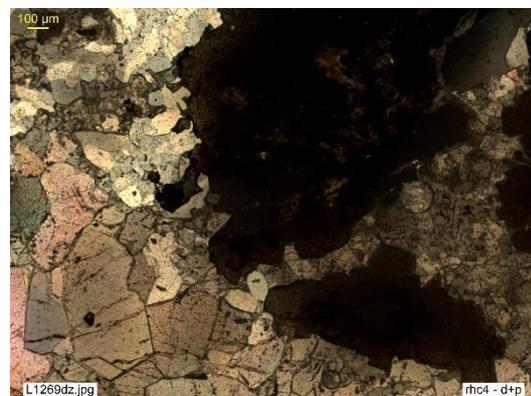
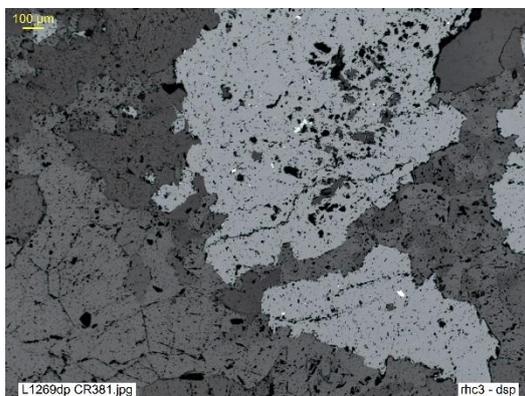
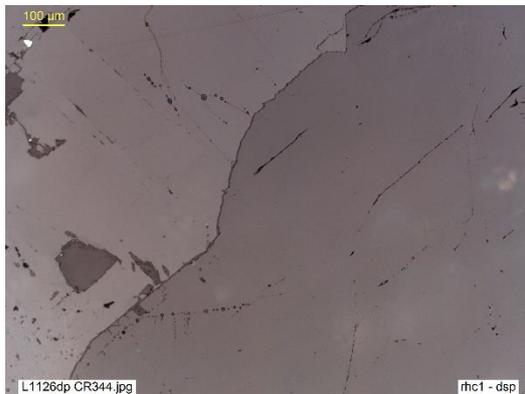
En el mismo grupo de carbonatos romboédricos se encuentran **magnesita**, *mag*,  $Mg(CO_3)$ ; **rodocrosita**, *rhc*,  $Mn(CO_3)$ ; **smithsonita**, *sms*,  $Zn(CO_3)$  y **siderita**, *sid*,  $Fe(CO_3)$ , isoestructurales con calc. Estos minerales se han enumerado por orden creciente de sus índices de refracción, *n* (Tabla 3). En términos prácticos, el valor creciente de *n* implica que, aunque observados con LR aparezcan todos grises, se ven cada vez más claros o con mayor brillo (reflectancias crecientes) de izquierda a derecha. Todos ellos son más reflectivos que calc.

El brillo es, pues, un dato importante para el reconocimiento, que debe complementarse con información geológica y sobre la paragénesis (p. ej., *sms*: paragénesis de minerales oxidados de Zn; *sid*, ubicua; *mag*, en entornos geológicos o metasomáticos particulares: asociada a alteración o metamorfismo de rocas ígneas ricas en Mg, como peridotitas y complejos ofiolíticos, metasomatismo, depósitos evaporíticos...). Sin embargo, la cuantificación del brillo a ojo no es fácil en granos aislados y, para ser más fiable en casos como éstos, en que las diferencias son pequeñas y graduales, conviene estimarlo por comparación de granos contiguos de las especies consideradas, pero esta contigüidad entre especies de carbonatos parecidos no es precisamente frecuente, con la salvedad de calc y dol, que aparecen asociadas en muchas rocas. Así, en ausencia de otras propiedades diagnósticas, el brillo es insuficiente para una identificación segura con LR, aunque es el único dato disponible en algunos casos. Cuando el mineral es incoloro y se ve solo gris, con RI también incoloras, como ocurre sobre todo en **mag** o **sms**, es conveniente recurrir al apoyo de otras técnicas (petrográficas, tinción, ataque ácido, microanálisis, DRX...). No obstante, *rhc* y *sid* pueden ser generalmente reconocidas con un grado de confianza aceptable.

**Rodocrosita**, *rhc*, además de las propiedades típicas de Carb que comparte con calc, tiene como características distintivas:

- su reflectancia relativamente alta, mucho más que la de calc: por ello, a diferencia de calc, no desaparece en inmersión (*osp*), aunque sea apenas visible en la dirección  $n_e$ , en la que se ve muy oscura ( $R_{o-e/rhc} \approx 0.1\%$ ; pero:  $R_{o-e/calc} \approx 0.002\%$  !);
- su fuerte birreflectancia, evidente al microscopio por la notoria diferencia en tonos de gris de los distintos granos (F *rhc1* y -3);
- color típicamente rosado a simple vista, aunque puede resultar pardo a negro por alteración, fundamentalmente a óxidos de Mn;

- en LR, el color es gris como en los demás carbonatos, pero deja traslucir en muestras frescas, por efecto de las RI, un ligero matiz rosado superpuesto (*dsp*: F *rhc1*);
- con analizador (*d+p*) las RI son de color rosado intenso, masivas y luminosas (F *rhc2* y -4); no obstante, es frecuente que se interpongan productos de alteración oscuros, pardos a negros que pueden ocultar las RI;
- la alteración, dominada por óxidos de Mn como pirolusita o psilomelana que pueden reconocerse con LR, distingue *rhc* de otros carbonatos parecidos, como *sid* o *sms*;
- la paragénesis, frecuentemente epitermal y relacionada con yacimientos de metales preciosos, pero también pegmatítica, hidrotermal variada o sedimentaria.



F *rhc1* y F *rhc2* (Misma imagen: *dsp* y *d+p*, *resp*). Rodrosita *rhc* holocristalina, gris con tono rosado (*dsp*): la minúscula inclusión de pirita *py* (ángulo sup izq) proporciona una referencia para estimar su reflectancia; los distintos tonos de gris de *rhc* evidencian su birreflectancia. Con analizador (*d+p*), el tono rosado de *rhc* se ve reforzado por las RI y su transparencia permite distinguir alineaciones de inclusiones fluidas secundarias, en el cemento de microfisuras internas. CR 344, Inakuraishy Mine, Hokkaido, Japón.

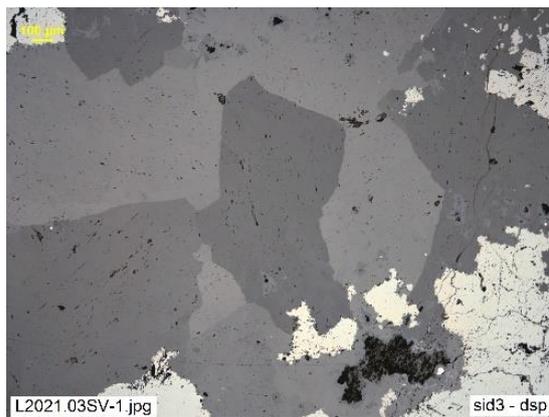
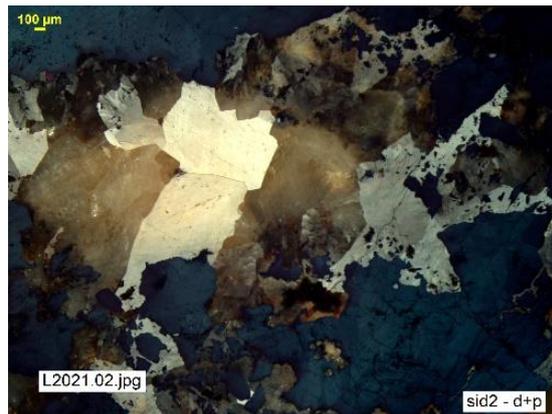
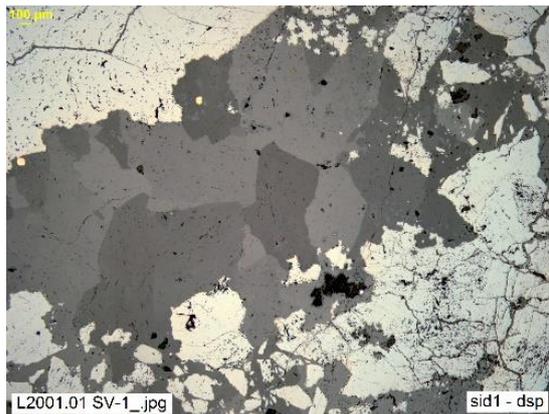
F *rhc3* y F *rhc4* (Misma imagen: *dsp* y *d+p*, *resp*). Mena de esferita *sp* con *rhc* masiva, *q* accesorio y trazas de galena *gn* (diminutas inclusiones blancas en *sp*); *sp* se ve gris claro (comp. gg), pero la comparación con *gn* ( $R \approx 43\%$ ) muestra su baja reflectancia ( $R_{sp} \approx 17\%$ ). Comp. con *q* (el más oscuro, relieve: áng sup dch<sup>9</sup>), se evidencia la notable birreflectancia de *rhc*: desde un valor próximo al *q* ( $R_q \approx 4.5\%$ ) hasta un valor netamente más alto, pero inferior a *sp*. Con analizador (*d+p*), la saturación luminosa por RI de *rhc* oblitera en parte las RI de *sp*, pero no el anisotropismo de *rhc*. CR-381, True Fissure Mine, Philipsburg district, Montana, USA.

En cuanto a la **siderita**, *sid*, son muy netas sus propiedades como carbonato, acentuadas por características peculiares que facilitan su reconocimiento:

- su reflectancia relativamente alta (**F sid1** y **F sid3**) sólo superada por *crs*, entre los Carb aquí considerados): siderita destaca por su brillo frente a *calc*, *dol* o *mag* y permanece siempre visible (incluso en inmersión, *osp*: siderita se ve con dificultad, muy oscura, en la dirección  $n_\epsilon$ , pero no totalmente negra como *calcita*; compárense **F sid5** - **F sid6** y los valores de Reflectancia, R, en inmersión,  $R_o$ , mínimo ( $\epsilon$ ) y máximo ( $\omega$ ), de siderita:  $R_{o-\epsilon/sid} \approx 0.2\%$  y  $R_{o-\omega/sid} \approx 1.2\%$ , con los correspondientes de *calcita*, cuya  $R_\epsilon$  casi nula la hace prácticamente invisible en la dirección  $n_\epsilon$ :  $R_{o-\epsilon/calc} \approx 0.002\%$  y  $R_{o-\omega/calc} \approx 0.25\%$ , );
- su elevada birrefringencia (la más alta entre los Carb del grupo de la *calc*: cf. *Tabla 3*), notoria en LR por la *fuerte birreflectancia* resultante (**F sid1**, **F sid3**, **F sid5**);
- sus frecuentes maclas laminares o polisintéticas, las cuales la distinguen de *mag* o *sms*, que carecen de ellas;
- con analizador (*d+p*), además de su llamativo anisotropismo, que con objetivo seco y de pocos aumentos puede resultar espectacular por su luminosidad y contrastes, destacan sus RI incoloras o amarillentas a pardo-rojizas (**F sid2**, **F sid4**);
- la frecuente alteración, meteórica o hipogénica, de *sid* a limonita, que intensifica el color rojizo de las RI por oxidación meteórica u otros procesos; entre éstos, la sustitución metasomático-hidrotermal por diversos minerales, como magnetita, según se observa en **F sid7** (Minas La Unión, Cartagena).

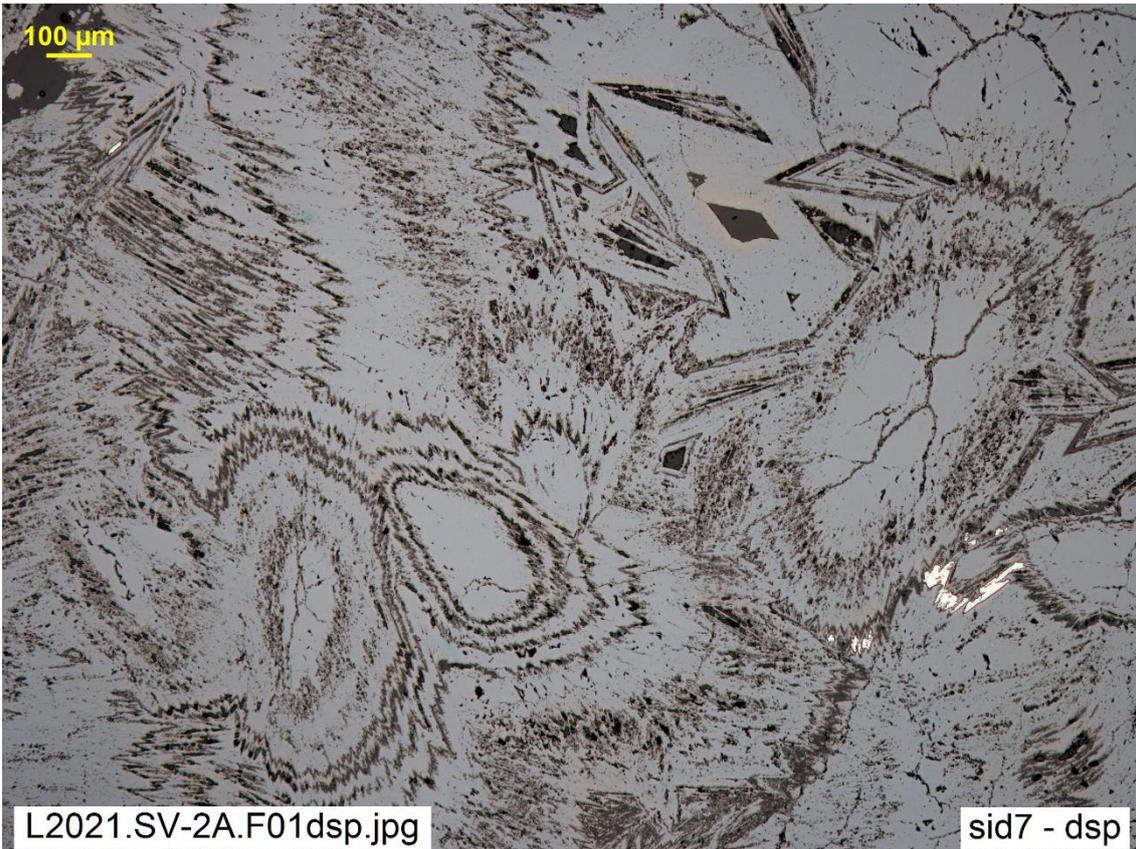
Esta alteración limonítica se encuentra también en *ank* (cf. **F ank1-2**), mineral del grupo de la *dol* con el que podría confundirse siderita, cuando aquélla se presenta en sus variedades más ricas en Fe (más reflectivas), aunque en comparación directa su brillo es claramente más bajo (*Tabla 3*).

Las paragénesis de *sid* son variadas. Es típica su presencia en series sedimentarias, *vbgr.* en las facies *carbonate iron formations* de las BIF's; también en varios tipos de yacimientos pegmatíticos, hidrotermales (*vbgr.* Coeur d'Alene, Idaho, USA) o metasomáticos, pero no es frecuente en medios oxidantes.



**F sid1** y **F sid2** (Misma escena, **dsp** y **d+p**, resp). Vetilla de siderita (cristalina, euhédrica, muy birreflectante, *dsp*: distintos tonos de gris; anisotropismo fuerte, *d+p*), que cementa y reemplaza magnetita (muy clara, casi blanca, por contraste, pero conserva su tono pardusco; isótropa). SV-1, Cantera San Valentín, La Unión, Cartagena.

**F sid3** y **F sid4** (Detalle de *F sid1*, zona central, **dsp** y **d+p**, resp). Con más aumentos (obj. 5x), la birreflectancia de siderita aún se percibe claramente, pero su anisotropismo es en parte obliterado por las RI, que en cambio ponen de manifiesto más netamente el zonado.



**Fsid7 Mwn.** Reemplazamiento pseudomórfico de siderita (representada por fantasmas de romboedros y agregados indentados, con escasos relictos del carbonato, gris oscuro) y greenalita (fibrosa o acicular) por magnetita (gris claro). SV-2.A, Cantera San Valentín, La Unión, Cartagena (**dsp**).

**Dolomita**, *dol*,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , trigonal, es también un mineral frecuente, si bien no tanto como calc, a la que se parece (aunque es más dura y más densa que calc) y con la que está estrechamente relacionada, hasta el punto de ser ambas, con su retículo romboédrico, casi isoestructurales. Sin embargo, en calc todos los cationes son equivalentes (iones de Ca), lo que no ocurre en dol, que incorpora iones Mg alternando con Ca. Por ello, en dol es frecuente la incorporación de Fe en la red, por sustitución isomorfa del Mg. Esta sustitución de Mg por Fe puede ocurrir en distintos grados y llega a composiciones transicionales a ankerita, que definen la serie ankerita-dolomita:  $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2 - \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ .

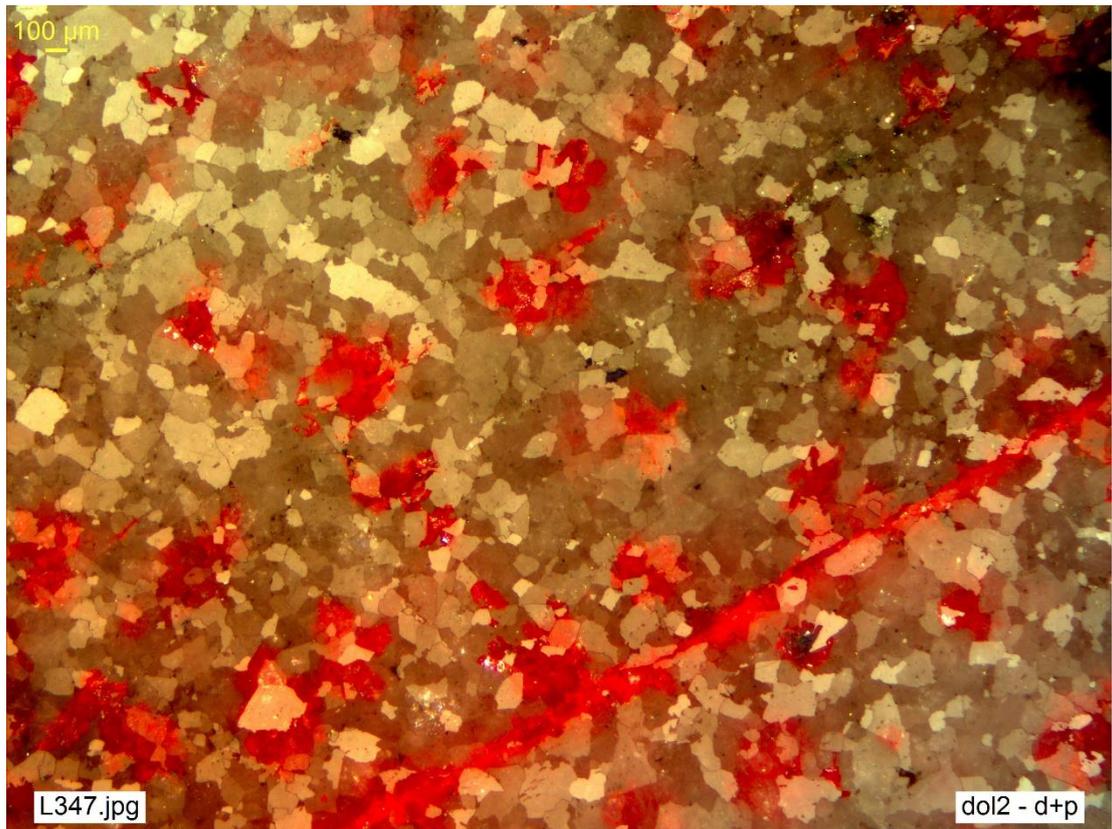
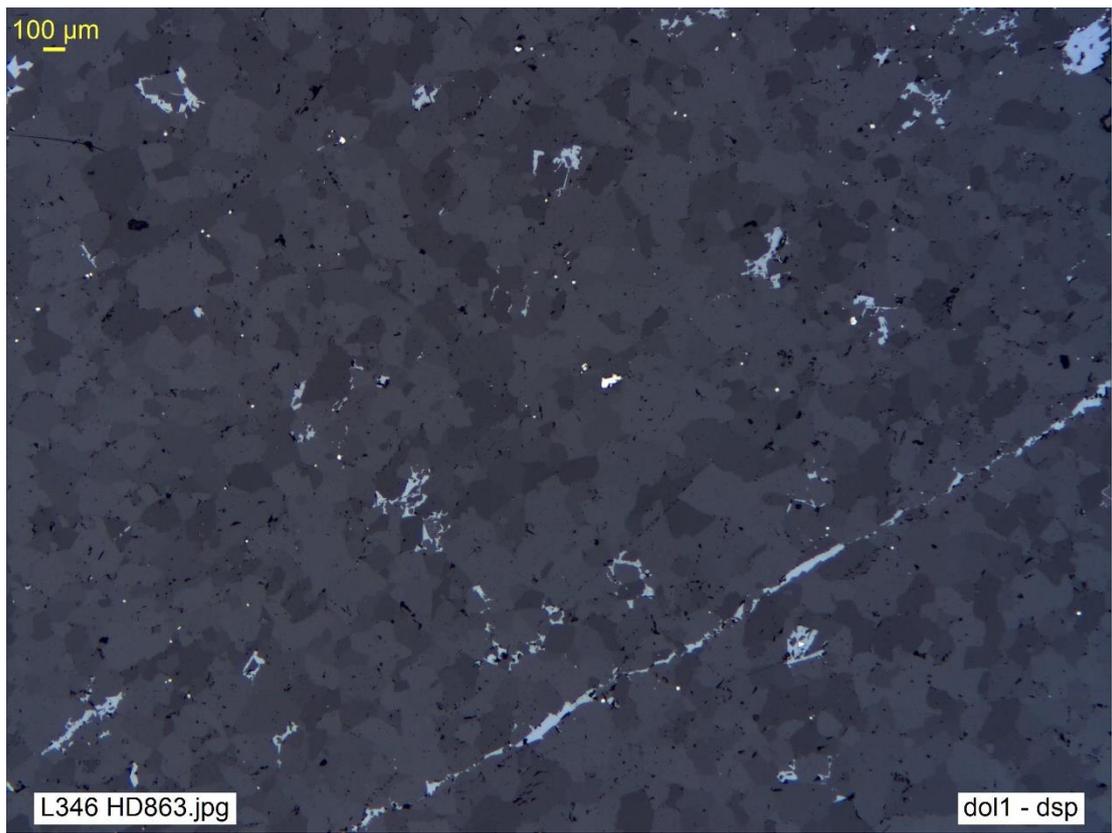
En cuanto a las propiedades ópticas, comparte con calc la notable birreflectancia, el anisotropismo y la abundancia de RI, generalmente incoloras (**F dol 1** y **F dol 2**). La refringencia ( $n_\omega = 1.679$ ,  $n_\epsilon = 1.500$ ) y la birrefringencia ( $\delta = 0.179$ ) de dol son ligeramente más altas que las de calc, pero las diferencias de reflectancia (nivel de gris) o de birreflectancia, resultantes de esa ligera variación de los valores de  $n_{\text{dol}}$  con respecto a  $n_{\text{calc}}$ , son demasiado pequeñas para que el ojo humano pueda distinguirlos con certeza por el nivel de gris. Por ello, la distinción al microscopio de calc y dol, que con frecuencia aparecen asociadas en algunas rocas como calizas o dolomías, es poco segura.

No obstante, aparte del teñido diagnóstico en LT o del conocido y útil recurso al ataque ácido en muestra de mano, para distinguir de calc la serie dol-ank, que es mucho más resistente al ataque, el microscopio permite, también con LR, observar sutiles diferencias:

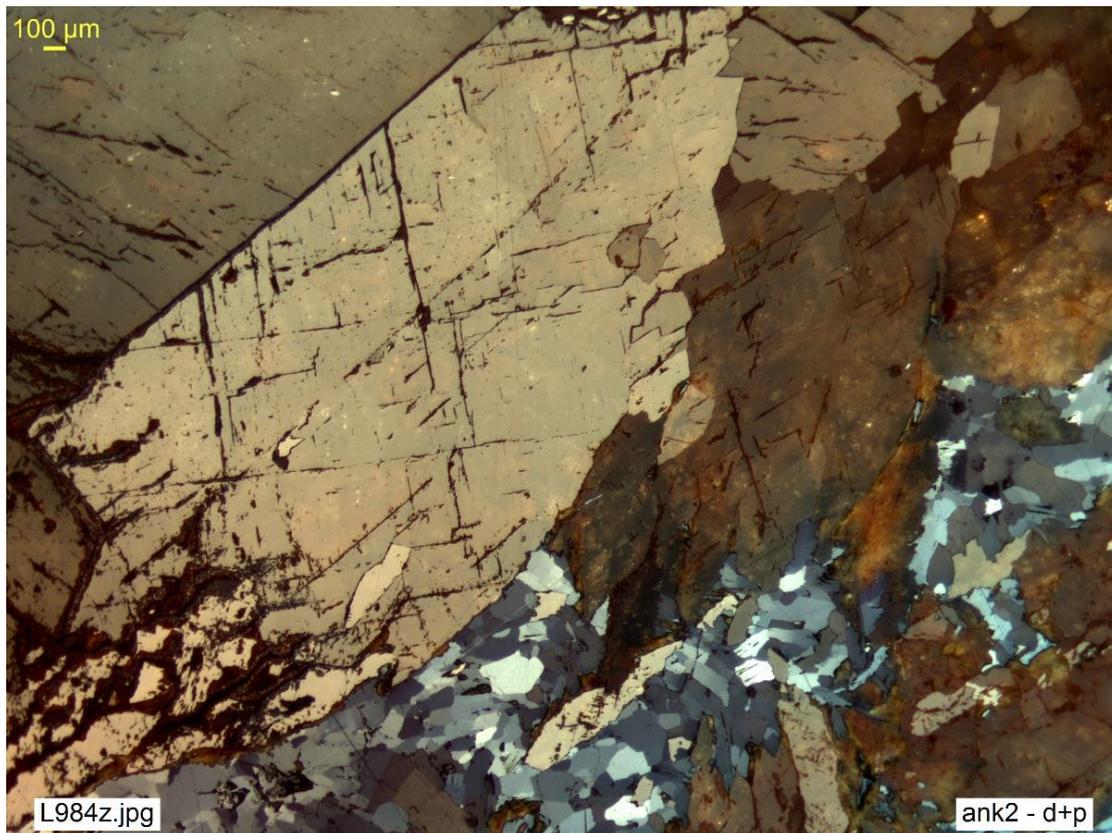
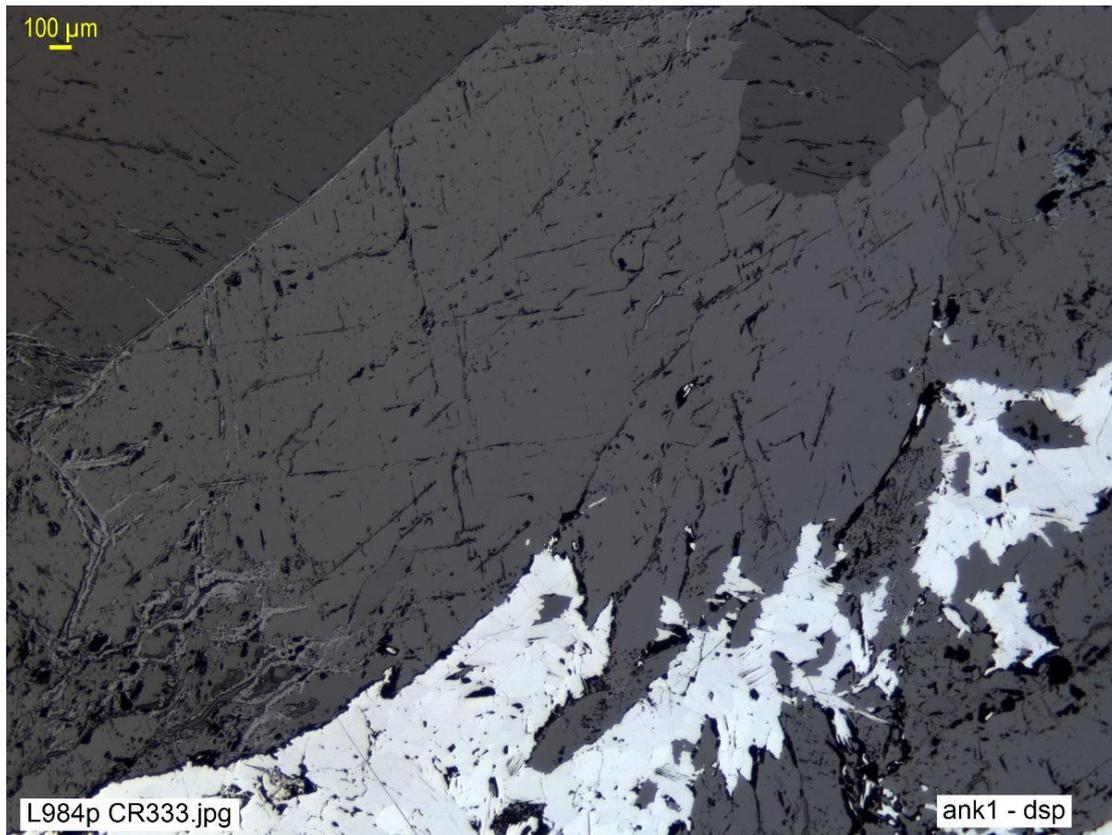
- desde el punto de vista de la morfología, dol tiene una tendencia mucho más fuerte que calc a desarrollar formas cristalinas, a menudo euhédricas (**F dol 1-2**);
- además dol, a diferencia de calc, muestra exfoliación romboédrica ( $10\bar{1}1$ ) perfecta;
- el índice de refracción,  $n$ , de dol crece con el contenido en Fe y, por otra parte,
- las RI de dol, en principio incoloras como las de calc, pueden pasar paulatinamente a ocre-amarillento o pardo rojizo (ankerita, cf **F ank 1-2**) al aumentar dicho contenido;
- las maclas de presión, muy frecuentes en calc, son en dol escasas.

**Ankerita**, *ank*,  $(\text{CaFe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{CO}_3)_2$ , trigonal, pertenece al grupo estructural de la dol, con la que forma una serie (cf. dol). De hecho, ank se ha definido como una dol enriquecida en Fe, con un cociente  $\text{Fe}^{2+} / (\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) \geq 0.2$  (Chang et al, 1998), identificándose como *dolomía ferrosa* (*ferroan dolomite*) las composiciones entre dol y ank ( $0 > \text{Fe}^{2+} / (\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}) < 0.2$ ).

Como Carb romboédrico que es, ank muestra, igual que dol, una exfoliación romboédrica ( $10\bar{1}1$ ) perfecta, pero su birrefringencia es mucho mayor que la de dol. Por otra parte, ank es mucho más escasa en la naturaleza que dol. Sobre todo en los términos más ricos en Fe de la serie, por su aspecto se parece más bien a sid, con la que podría confundirse: por su reflectancia y su birreflectancia, variables según la composición (la reflectancia aumenta con el contenido en Fe) pero mayores que las de dol, así como por la coloración pardo-amarillenta de sus RI, localmente reforzadas con tonos rojizos debidos a la frecuente alteración limonítica (**F ank 1** y **F ank 2**); otras veces con tonos rosados, en variedades enriquecidas en Mn.



F *dol1* y F *dol2* (Misma imagen: **dsp** y **d+p**, *resp*). Impregnación intersticial de cinabrio *cin* (gris azulado claro) y escasa pirita (blanco amarillento), en dolomía cristalina (gris, en varios tonos oscuros, que muestran la neta birreflectancia del mineral *dol: dsp*). Con analizador (*d+p*) se percibe de inmediato el anisotropismo y abundantes RI incoloros de *dol*, a diferencia del *cin*, cuyo anisotropismo queda enmascarado por sus llamativas RI, de tono rojo intenso. HD 863, Idria, Yugoslavia.

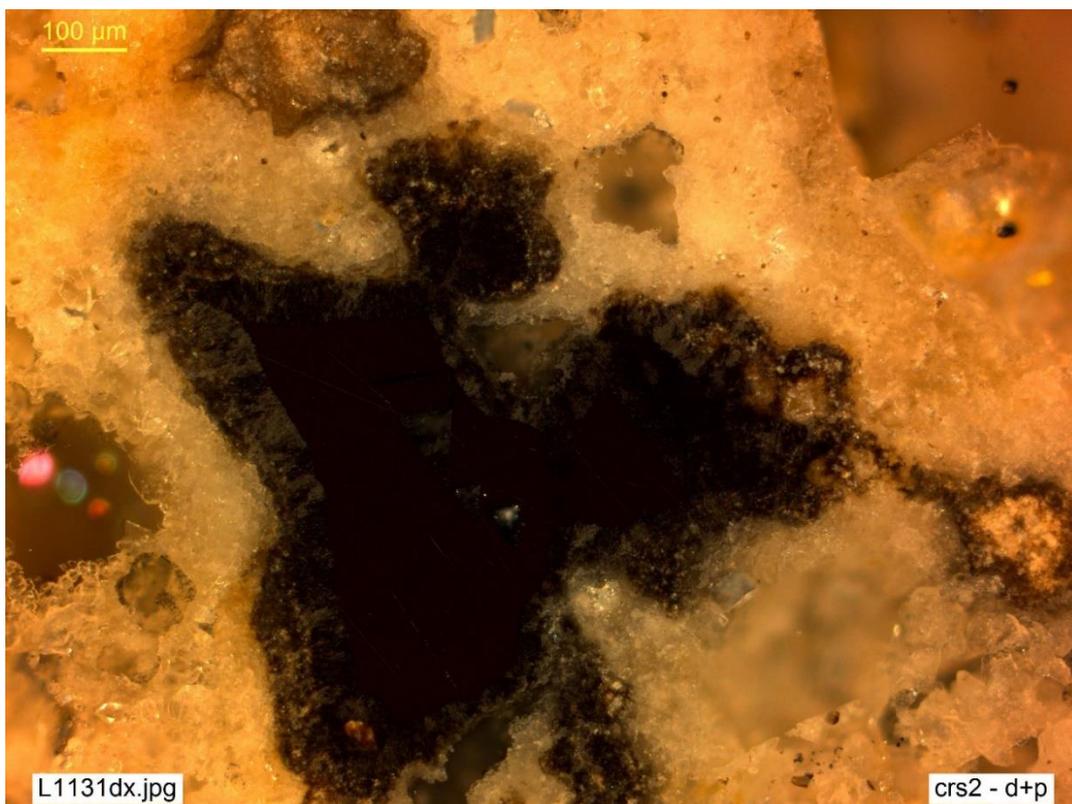
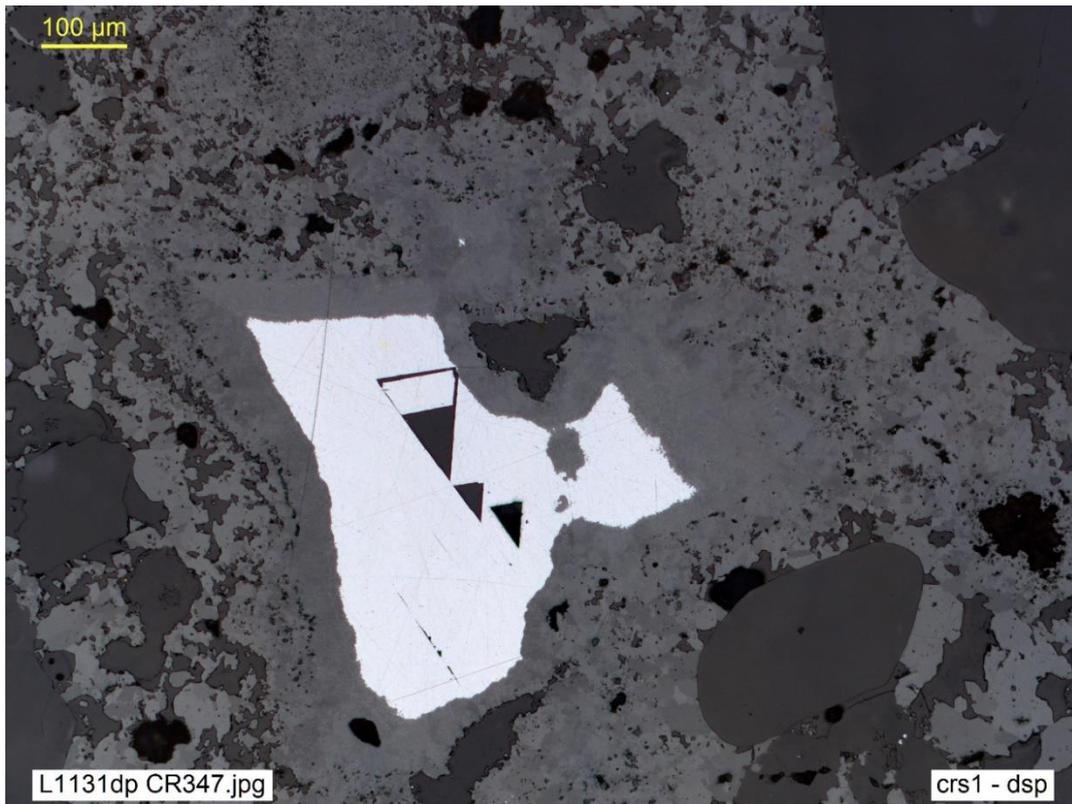


**F ank1** y **F ank2** (Misma escena: *dsp* y *d+p*, resp). Ankerita **ank** holocristalina (gris), ligeramente fragmentada y alterada a limonita **lim** (inf izq), cementada por estibina **sbt** (blanca, fuerte anisotropismo). La reflectancia relativamente alta, la notable birreflectancia (de gris a gris oscuro) y el crucero perfecto (*dsp*), lo mismo que, con (*d+p*), el anisotropismo neto y las **RI** blanco amarillentas, pasando a rojizas por oxidación (**lim**), caracterizan **ank**. CR 333, Mina Carrok, Devon (UK).

Entre los carbonatos *ortorrómbicos* (*Grupo del Aragonito*), sólo la **cerusita**, *crs*,  $\text{PbCO}_3$ , es relativamente frecuente, como manifestación supergénica de menas de Pb, típicamente galena meteorizada. Es precisamente la asociación con menas oxidadas de Pb, corroborada por la relación espacial con relictos de gn u otras menas sulfuradas de Pb, visibles en la muestra, una primera indicación de la probable presencia de *crs*. La identidad de *crs* puede entonces reconocerse (**F crs 1** y **F crs2**) enseguida por:

- su refringencia y birrefringencia fortísimas (Tabla 3);
- su notable reflectancia, netamente más alta que la habitual en minerales de gg, incluidos los demás carbonatos (Tabla 3);
- su fuerte birreflectancia;
- su anisotropismo manifiesto en aire, en parte obliterado por RI en inmersión;
- sus RI generalmente incoloras, pero que suelen mostrar bordes difusos y coloreados por efecto de la fuerte dispersión, según Ramdohr (1980);
- la tendencia a formar agregados cristalinos, aunque mimetice las formas, la exfoliación o el zonado de gn por reemplazamiento seudomórfico (**F crs 1**);
- preservar con frecuencia pequeños relictos de gn o de otras menas sulfuradas de Pb, muchas veces rodeados de una corona intermedia (algo más oscura que *crs* y menos cristalina) de anglesita, sulfato que representa un primer estadio en la oxidación del sulfuro (**F crs 2**).

Para concluir, otros Carb importantes, como **malaquita**, **azurita** o **bastnäsita**, se han descrito en el capítulo de menas (§ 2: *mch*, *az*, *bst*), tal como se ha indicado ya.



**F crs1** y **F crs2** (Misma imagen: **dsp** y **d+p**, resp). Alteración zonada de galena **gn** (blanca, *triangular pits*) a anglesita **ang** y cerusita **crs**. La zona interna es una corona de **ang** microcristalina (gris: **dsp**) sobre **gn**: su escasa transparencia (tono oscuro: **d+p**) sugiere que incluye todavía numerosos relictos submicroscópicos, opacos, del mineral primario (**gn**). La zona externa contiene esencialmente **crs** (gris, más cristalina que **ang** y más netamente birreflectante, **dsp**) y cuarzo accesorio (gris oscuro). Las abundantes y luminosas **RI** de **crs** indican su transparencia y la oxidación prácticamente completa de **gn**, hasta la casi total desaparición de relictos del sulfuro primario en la zona de **crs**. CR 347, Webb's Consols Mine, New England, Australia.

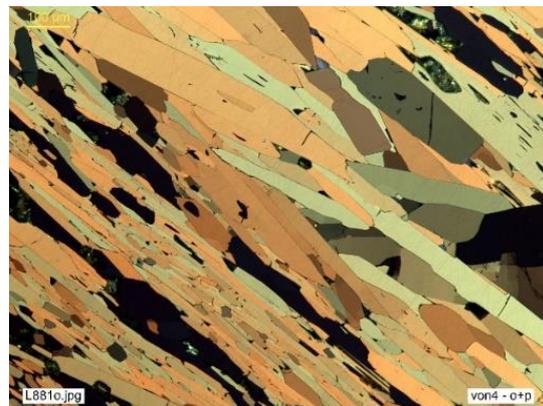
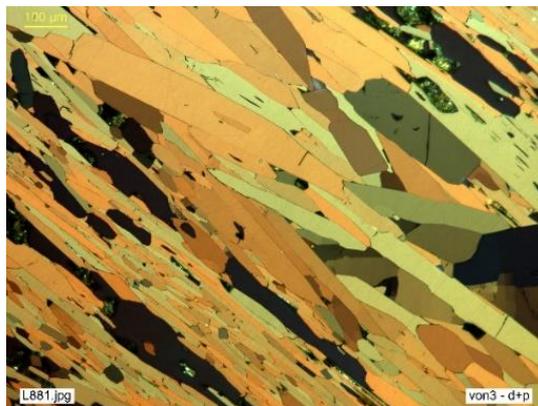
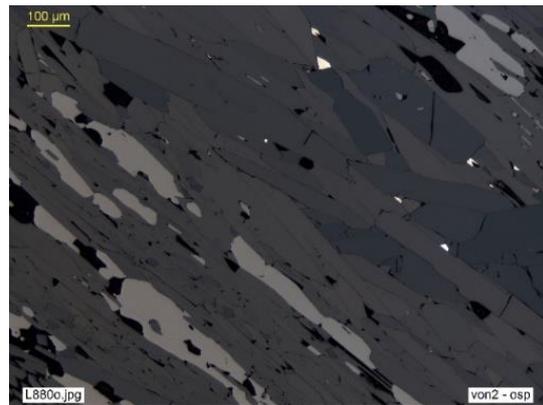
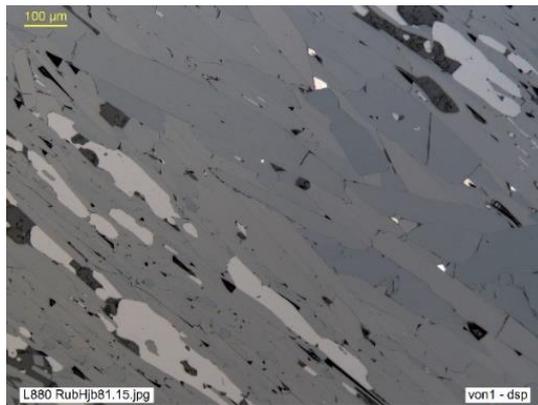
## Boratos

**Vonsenita** (*von*,  $\text{Fe}^{2+}_2\text{Fe}^{3+}\cdot\text{BO}_3\text{O}_2$ , ortorrómbico) es un mineral poco común, pero típicamente presente en ciertas paragénesis (yacimientos ferríferos metamórficos de contacto o metasomáticos). Pertenece al grupo de la ludwigita, con la que forma la serie ludwigita-vonsenita,  $\text{Mg}_2\text{Fe}^{3+}(\text{BO}_3)\text{O}_2 - \text{Fe}_2^{2+}\text{Fe}^{3+}(\text{BO}_3)\text{O}_2$ . Por su aspecto y color, negro brillante en muestra de mano, casi opaco, gris al microscopio, con reflectancia ( $R \approx 12\%$  a  $14\%$ , para 546 nm) del orden de la cromita (ligeramente mayor que casiterita y netamente mayor que la ganga habitual), podría parecer una mena. No obstante, no se le conocen aplicaciones industriales y es, por tanto, conceptualmente un mineral típico de ganga.

Aparte de la paragénesis propia de depósitos ricos en Fe, metamórficos de contacto o de *skarn* con magnetita, que supone un primer filtro para su presencia, se reconoce por:

- su hábito frecuentemente prismático o acicular (**F von1** y **F von2**);
- su pleocroísmo en tonos gris a gris pardusco (más claro), perceptible en aire y más acusado en inmersión (**F von1** y **F von2**);
- su baja reflectancia, comparada con la magnetita que suele acompañarla (**F von1** y **F von2**);
- su llamativo anisotropismo, incluso en aire, con tonos vivos pardo-rojizos y grises, ligeramente violáceos o verdosos (**F von3** y **F von4**);
- la escasez de RI, pardo-rojizas, que en cambio son frecuentes en los términos ricos en Mg de la serie (ludwigita).

Por su aspecto podría confundirse con variedades oscuras de turmalina (*chorlo*), pero ésta tiene RI mucho más abundantes y luminosas, además de ser más transparente (menor reflectancia).



**F von1** y **F von2** (Misma escena: **dsp** y **osp**, *resp*). Agregado nematoblástico de vonsenita **von** (gris a pardo grisáceo, pleocroico) y magnetita **mt** (gris pardusco muy claro), con gg (gris oscuro, *dsp*; negro en inmersión: *osp*) y pirita **py** (blanco amarillento) accesorias. Rub.81.15, Mina Monchi, Burguillos del Cerro, Badajoz.

**F von3** y **F von4** (la misma escena de **F von1**: **d+p** y **o+p**, *resp*). Vivo anisotropismo de **von**, en contraste con la extinción total de **mt** y **py** (isótropos).