

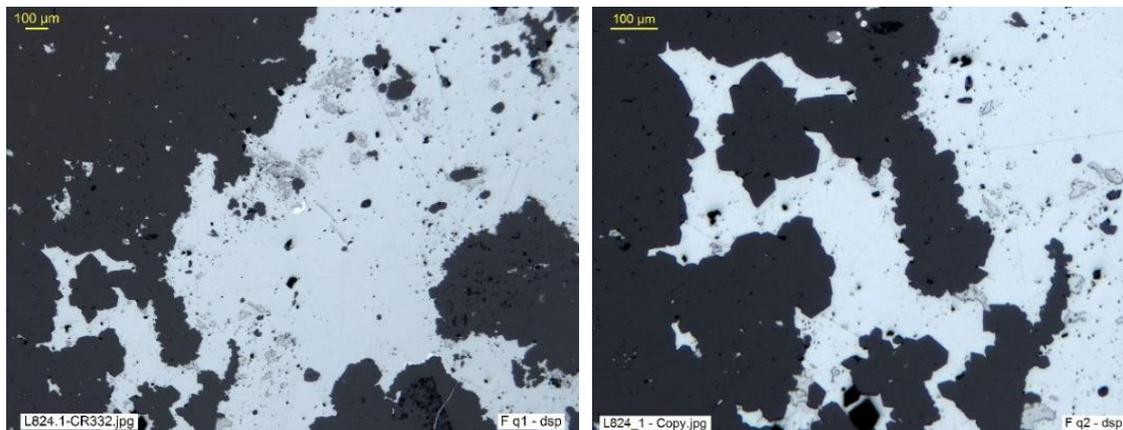
GANGAS DE LA CLASE SILICATOS

Tectosilicatos

Entre los tectosilicatos, sólo el grupo de la sílice y el del feldespato comprenden minerales de ganga comunes. En el primer grupo, es muy frecuente el cuarzo, **q** (incluidas sus variedades criptocristalinas, como calcedonia, jaspe y chert, y el ópalo, variedad amorfa e hidratada de sílice), no así sus polimorfos, como tridimita, cristobalita o los muy escasos coesita, stishovita y lechatelierita. Entre los feldespatos, **Fs**, mucho menos frecuentes en gg que el cuarzo, suelen predominar los alcalinos en ambientes epitermales y en yacimientos profundos ligados a magmatismo ácido: formaciones de greisen, filones Sn-W, Li, Nb, Ta, TR, etc. Y las plagioclasas cálcicas, en yacimientos de skarn o también en los asociados con rocas máficas (Ti-mt, Sulf Ni-Cu) y ultramáficas (Cr, EGP, Ni-Cu, etc.).

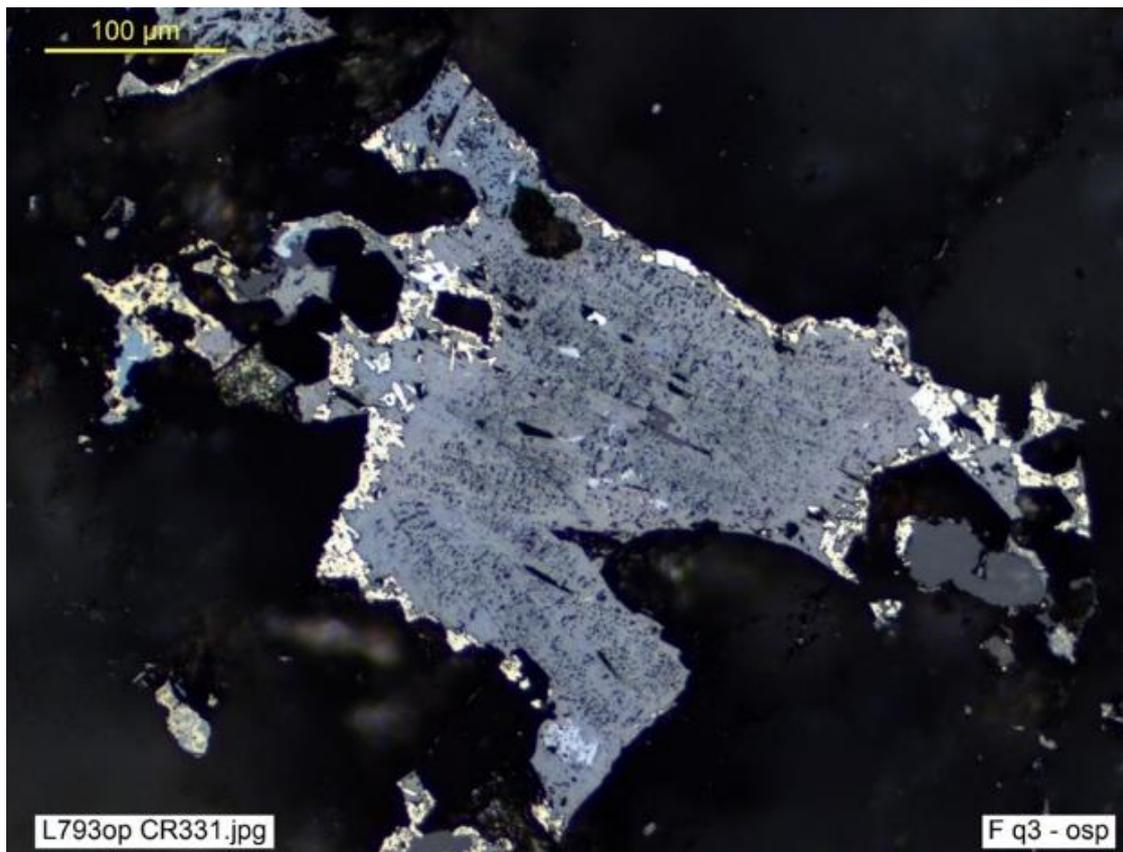
Grupo de la Sílice

El **cuarzo** (**q**, SiO₂, Trigonal) es el silicato más frecuente entre los componentes de la ganga. Se presenta en prácticamente todos los yacimientos hidrotermales y en la mayor parte de los sedimentarios y metamórficos. Si se tienen en cuenta sus variedades micro a criptocristalinas, abundantes en algunos tipos de yacimientos, como los epitermales de metales preciosos (*calcedonia*, *ópalo*, *sínter*), las BIF (*Banded Iron Formations*) o jaspilitas ferríferas (*jaspe*) y los sulfuros masivos (*chert*), entre otros, puede concluirse que el Grupo de la Sílice, ya sea como cuarzo, ya como alguna de las variedades citadas, es prácticamente ubicuo entre los minerales de ganga, con escasas excepciones (*vbgr.* cromititas).



F q1 y **F q2**. Mena de galena **gn** (con relictos de hematites **ht**) intercrecida con cuarzo **q**. Mientras que **gn** es anhédrica, el **q** muestra constantemente en los contactos un desarrollo automorfo, aunque de fina granulometría, que se reconoce por sus formas prismáticas y hexagonales, perceptibles claramente en la ampliación (**F q2**). CR-332, Vrancice, Pribram, Rep. Checa (**dsp**).

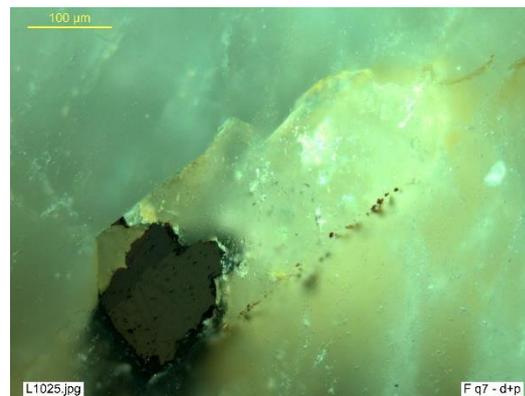
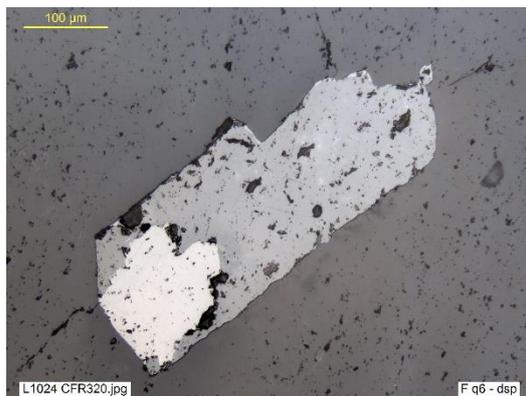
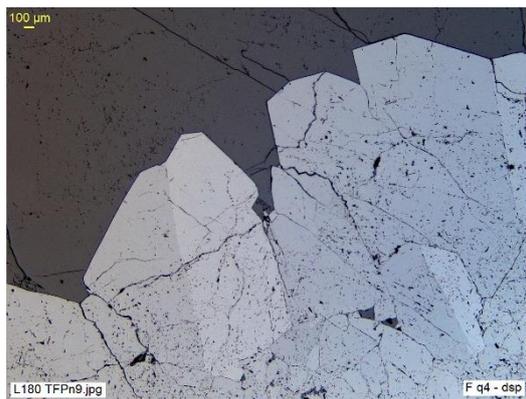
El reconocimiento del cuarzo cristalino no es difícil. Aparte de su *morfología*, que se manifiesta en típicas secciones prismáticas y hexagonales visibles cuando ha crecido libremente -muy frecuentes, por ejemplo, en ambientes epitermales de baja sulfuración-, se reconoce fácilmente por ser un mineral estable en superficie, lo que le confiere un aspecto *límpido*, en



F q3. Intercrecimiento de *q* automorfo con mena argentífera (stephanita *stp*, pirita *py*, calcopirita *ccp*, esfalerita *sp*, proustita *pru*): corrosión incipiente de *q*, relativamente temprano, por la mena sulfurada (por ejemplo, en la sección hexagonal indentada, a la dcha); stephanita *stp*, a su vez, muestra un punteado negro, resultado de la inevitable corrosión por luz. CR331, Fresnillo, Zacatecas, Mexico (**osp**).

general; por su elevada *dureza de pulido*, que puede dar lugar a relieve ocasional, pero no impide un *buen pulido*. Y por sus propiedades ópticas:

- *baja reflectancia, R*, que hace que, como la resina, se vea gris oscuro en aire, *dsp*, y que desaparezca (se ve negro) en inmersión, *osp* (comparar **F q1-2** con **F q3**). Por ello, *a su lado*, las menas de baja reflectancia, como *cst*, *sch*, *wf*, *mt* o *sp*, parecen mucho más brillantes (**F q4**, **-8** y, sobre todo, **F q6**; cf. Fotomicrografía del anfíbol **F Anf1**).
- *abundancia de RI* (reflexiones internas: **F q5** y **-7**, cf **F gg2**) con analizador *-d+p* y *o+p*- por ser transparente como la resina, pero a diferencia de ésta, que es isótropa, su estructura *anisótropa* da lugar a notables diferencias en la luminosidad según la orientación de los planos reticulares interceptados por el haz luminoso, o bien por las deformaciones internas (incluso *extinción ondulante*, cf. Fotomicrografía 6 de la Jacobsita; comparar fotomicrografías de la epidota); no obstante, los agregados de grano fino y las variedades criptocristalinas suelen mostrar un aspecto más uniforme (cf. Fotomicrografías 1 y 2 de la Vanadinita). Los granos deformados suelen mostrar microfisuras cementadas, con relictos de fluidos capturados en **IF** (*inclusiones fluidas*, *vbgr*. **Fq5** y **-7**).

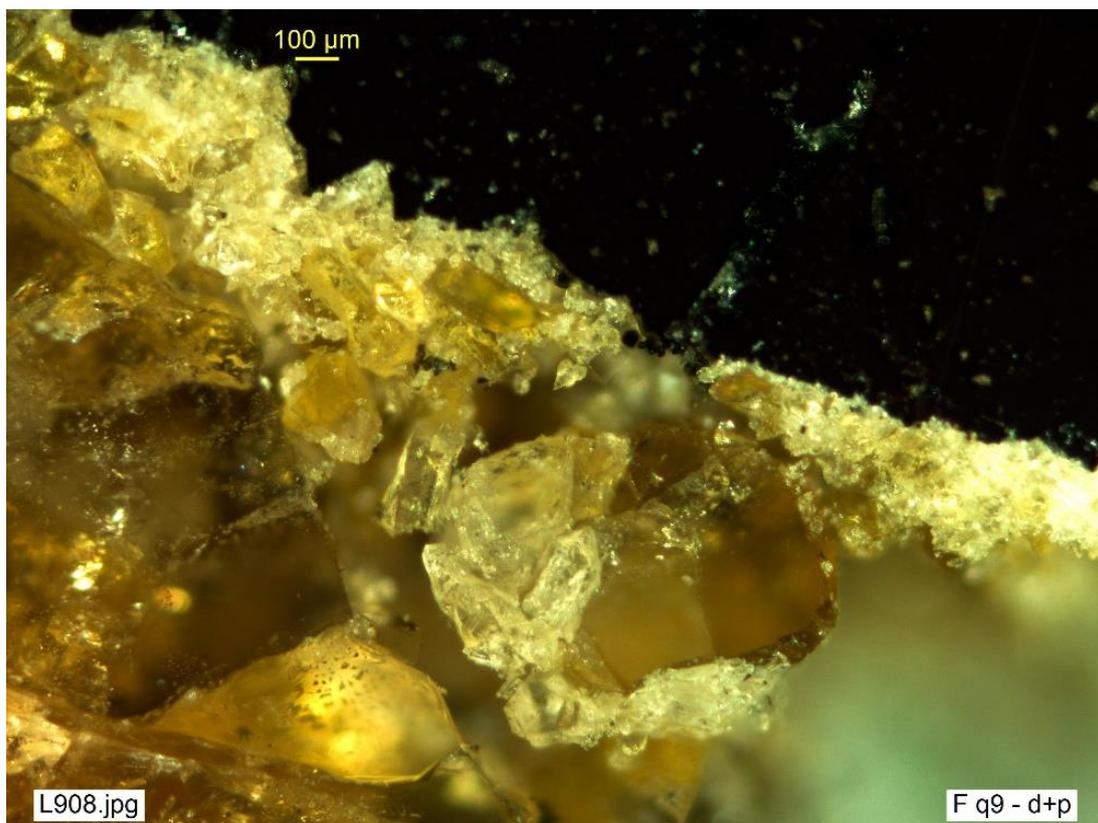
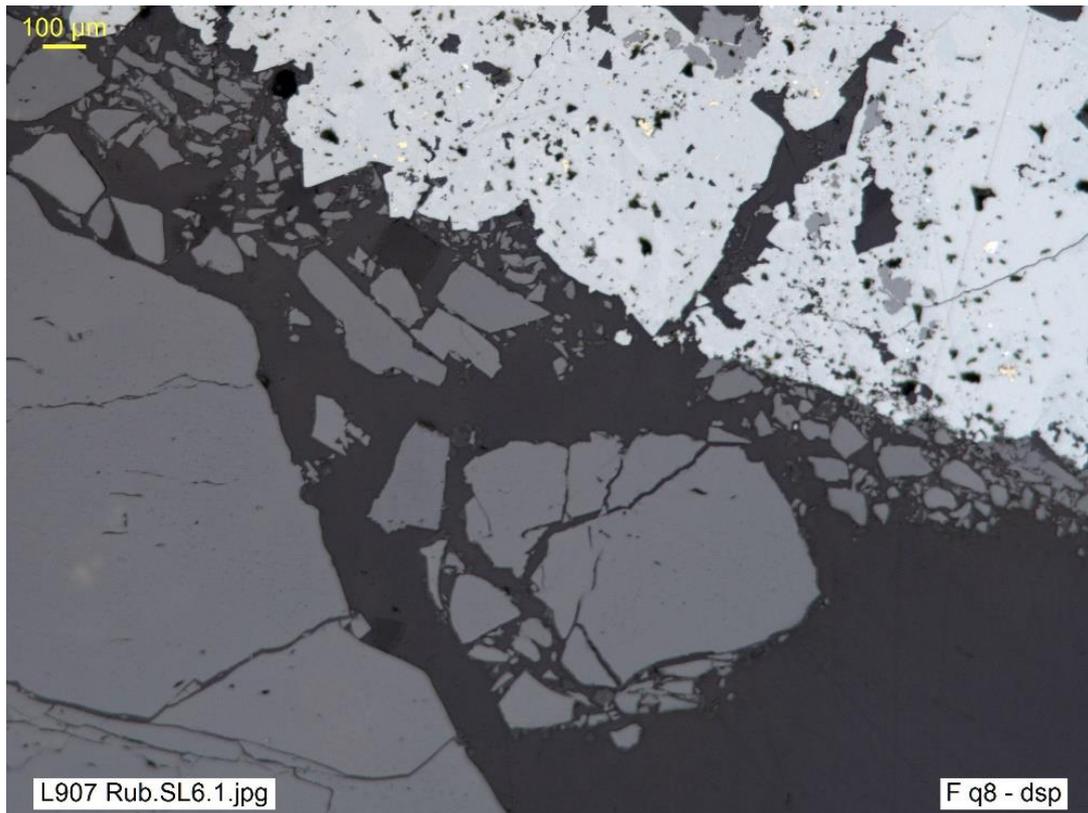


F q4 y **F q5**. Mismo imagen: **dsp** y **d+p** (*resp*). Relleno filoniano de cuarzo **q** (gris oscuro, anhédrico) y casiterita **cst** (gris claro, birreflectante, euhédrico). Con analizador, **F q5**, se perciben las abundantes **RI** de ambos minerales y algunas alineaciones de inclusiones fluidas secundarias sobre microfisuras, más nítidas en **q**, a diferencia del anisotropismo, que se percibe mejor en **cst** y evidencia sus maclas. TF Pn9, Montánchez, Cáceres.

F q6 y **F q7**. Mismo imagen: **dsp** y **d+p** (*resp*). Filón de **q** (gris oscuro), con cristal prismático compuesto por wolframita **wf** relicta (gris-pardo claro) y scheelita **sch** secundaria (gris, seudom. **wf**). Intensas **RI** y débil anisotropismo (**F q7**) de **q** y **sch**. Microfisuras con IF secundarias en ambos minerales. CR 320, ETSIMM (42-67-2).

Se encuentra en las más variadas paragénesis. Siendo muy abundante, no es raro que se presente en sucesivas generaciones en el mismo yacimiento, mostrando formas euhédricas o anhédricas según las condiciones (crecimiento en geodas y espacios libres o competencia con otras fases para ocupar el espacio, respectivamente) y dependiendo también de los acompañantes (*vbgr.* euhédrico con gn o sulfosales de plata: **F q1** a -3; anhédrico con **cst** o **wf**, que imponen sus propias formas cristalinas: **F q4**, -6). Mineral típico de alteración hidrotermal, puede sustituir generaciones tempranas, pero también ser reemplazado por distintos procesos. Su respuesta a la deformación, en las condiciones de la corteza superior, es frágil y, como mineral temprano, no es raro que aparezca brechificado (**F q8** y -9).

Es siempre recomendable el examen previo de la muestra de mano a simple vista o, si es posible, con lupa binocular, que suele despejar cualquier duda para un mineral tan común como el cuarzo, aun en los casos en que no todas estas propiedades sean claramente visibles al microscopio, como ocurre particularmente en las variedades de sílice micro a criptocristalina. Con todo, incluso en éstas, la dureza, la baja R (aspecto oscuro) y la transparencia (**RI**) siguen siendo criterios útiles.



F q8 y **F q9**. Misma imagen: **dsp** y **d+p** (*resp*). Mena de tennantita (**tnn**: gris claro, sup dcha; incluye esfalerita **sp** – gris intermedio-, calcopirita **ccp**, pirita **py**) y casiterita **cst** (gris oscuro, inf izq); ganga de **q**. Microbrechificación del contacto **cst-q-tnn**. RubSL6.1, Böhm. Zinnwald, Erzgebirge.

Grupo del Feldespato

Los minerales del amplio grupo del feldespato, **Fs**, en conjunto más abundantes que el cuarzo en la corteza terrestre (rocas comunes), pero mucho menos en gg de menas metálicas, comparten con éste algunas propiedades como la dureza elevada (aunque algo más baja que q) y la transparencia: escaso brillo o color gris oscuro en **LR** (luz reflejada), por su baja reflectancia¹.

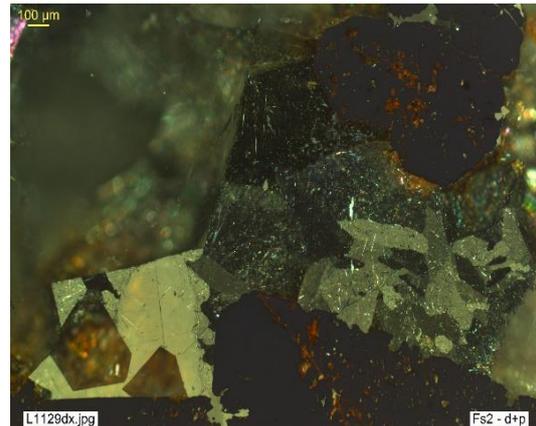
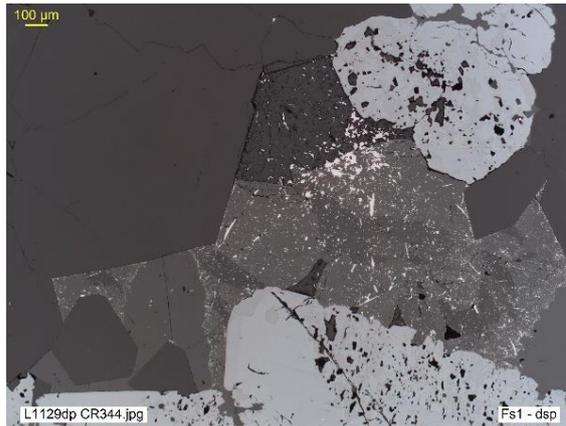
Difieren en su morfología: en lugar de las formas hexagonales del q de relleno hidrotermal, ocasional presencia de otras formas, como la pseudo-romboédrica de los cristallitos de adularia dispersos en menas epitermales. Y difieren, sobre todo, en su aspecto frecuentemente turbio, debido a su inestabilidad en las condiciones de formación de numerosos yacimientos minerales. Es decir, a los típicos procesos de alteración hipogénica, particularmente en los ámbitos neumatolítico-hidrotermales. Y también supergénica, en condiciones superficiales (meteorización).

Este aspecto turbio o “picado”, como de suciedad, contrasta con el habitualmente límpido del q (cf **F Fs1-2**) y se debe a las minúsculas inclusiones de minerales secundarios (q, Arc, ser y otros FS_{lc}, Carb) propios de las diversas alteraciones relacionadas (propilítica, argílica, fílica, etc.). Sin embargo, existen también procesos caracterizados por la formación póstuma de Fs, como la alteración potásica de los pórfidos cupríferos, con deposición tardi-magmática de feldespato potásico².

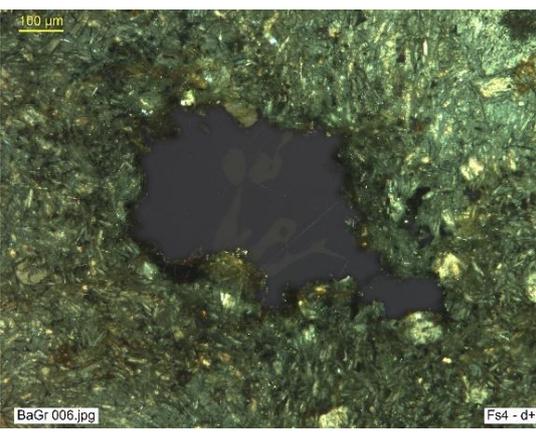
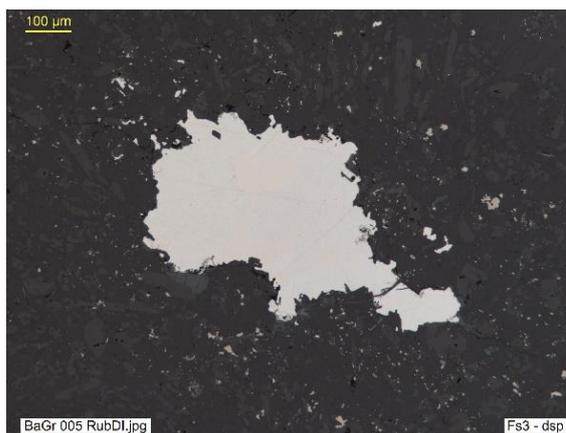
En conclusión, teniendo en cuenta que las maclas, uno de los rasgos más distintivos de las varias especies de Fs, por desgracia no se distinguen en LR, la presencia de Fs difícilmente puede reconocerse con luz reflejada. No obstante, en ocasiones aparecen rasgos típicos, como texturas de la roca que implican *Plag* (cf **F Fs3-4**), los cuales con los datos de paragénesis apropiados (p. ej. concentraciones de Fe-Ti en rocas máficas, yacimientos de Cr en ultramafitas, meteoritos...) hacen evidente su identidad.

¹ R_{Fs} es algo más variada que R_q , teniendo en cuenta los valores ligeramente más bajos del índice de refracción, n , en los feldespatos alcalinos (≈ 1.52 , or) y algo más altos en las plagioclasas cálcicas (desde $n \approx 1.53$, ab, hasta $n \approx 1.59$, an), frente al valor intermedio ($n \approx 1.55$) de q, pero convertidas en valores de R -cf. §1.2.2, función de Fresnel- estas pequeñas diferencias son insignificantes y, en general, imperceptibles para el ojo humano.

² No obstante, no es raro que esta alteración potásica, relativamente temprana, aparezca obliterada en distintos grados por ulteriores alteraciones q-sericíticas o fílicas, en cuyo caso el Fs neoformado será a su vez reemplazado, parcial o totalmente, por FS_{lc} secundarios.



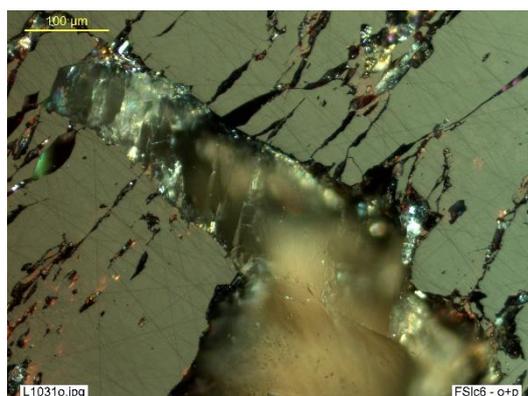
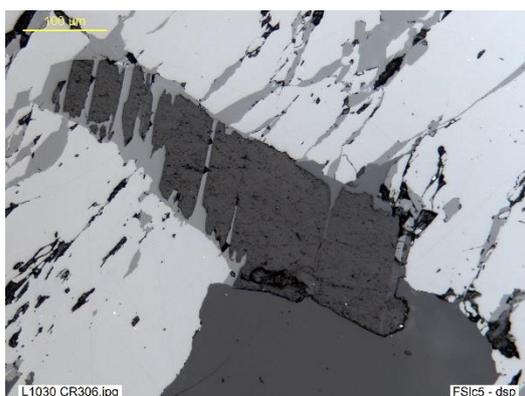
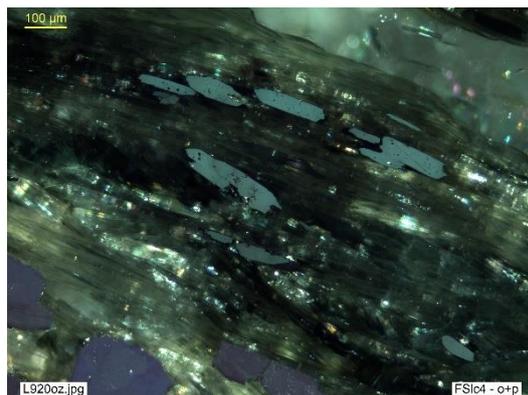
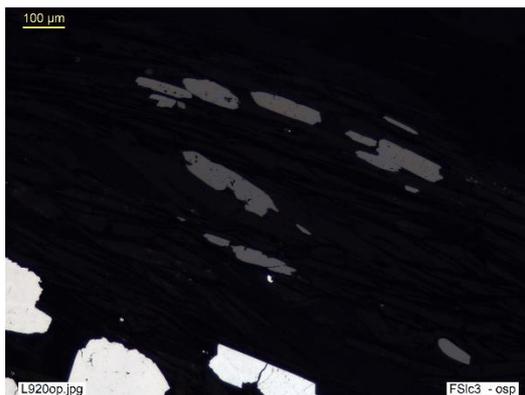
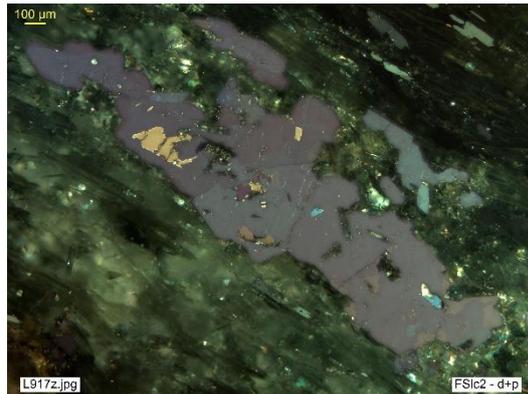
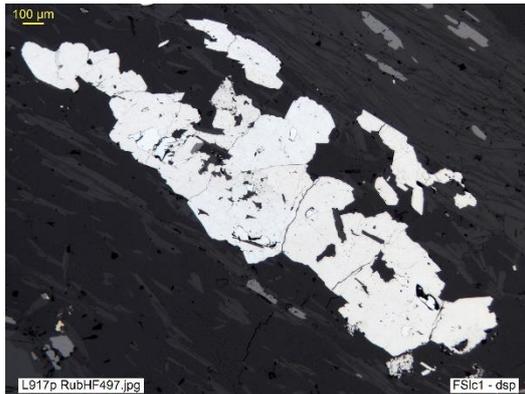
F Fs1 y F Fs2 (Misma imagen: **dsp** y **d+p**, *resp*). Relleno filoniano secuencial: 1) alabandita **alb** (gris claro) y cuarzo **q** (gris oscuro), ambos idiomorfos, dejando una geoda (centro de la imagen) sellada por: 2) una generación póstuma de **Carb** (birreflectante, ocupa casi todo el espacio de la geoda) y adularia **adu** (gris oscuro como **q**, pero turbio o “picado” por alteración, ángulo superior de la geoda), ambos alotriomorfos y con numerosas inclusiones aciculares de estibina **sbt** (blanca, anisótropa). La morfología y la ausencia de **sbt** en **q** y **alb** evidencian la cronología de la deposición. CR 344, Mina Inakuraishyi, Hokkaido, Japón.



F Fs3 y F Fs4 (Misma imagen: **dsp** y **o+p**, *resp*). Impregnación de hierro **Fe** y cohenita **coh** (blancos), con trazas de pirrotina **po** e ilmenita **il** diseminadas en basalto con textura fluidal, marcada por probable **Px** (gris claro) y plagioclasa **Plag** (gris oscuro), que con analizador (F Fs4) dejan entrever sus morfologías: finos prismas orientados de inosilicatos y microlitos de Plag, respectivamente. Muestra DI.Rub, Basalt Grunland, Groenlandia.

Filosilicatos

Los minerales arcillosos (*Arc*), serpentina (*srp*), micas (*Mica*) y cloritas (*Chl*) comparten una estructura hojosa a la que debe su nombre la Subclase Filosilicatos (**FSlc**). Esta estructura se manifiesta por una exfoliación neta, en planos paralelos, cuya intersección con la sección pulida es ocasionalmente visible en LR (Mica, Chl), como también pueden serlo las reflexiones internas reforzadas sobre dichos planos. Son en conjunto minerales blandos (comparables a gn) cuyo pulido es con frecuencia problemático, resultando un aspecto rugoso o picado, sobre todo en los agregados micro o criptocristalinos secundarios (sericita, illita, esmectitas, etc.).



F FSlc1 y F FSlc2 (Misma escena: **dsp** y **d+p**, *resp*). Micaesquisto (cuarzo, gris oscuro; biotita, algo más clara), con agregado de glaucodoto **gld** y safflorita **sf** (blanco brillante; anisót.). Cristalillos de ilmenita **il** (pardo-gris.; anisót.) dispersos, paralelos a la esquistosidad (orientación de mica). RubHF497, Przecznicza, Baja Silesia (Polonia).

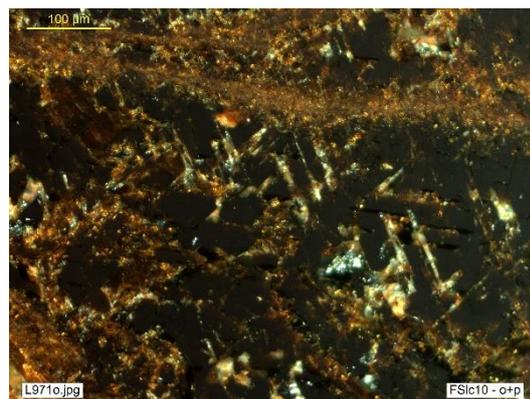
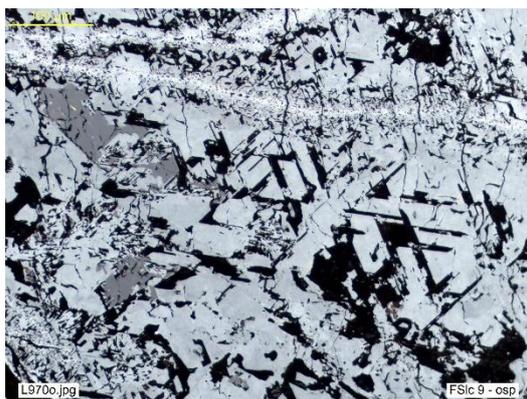
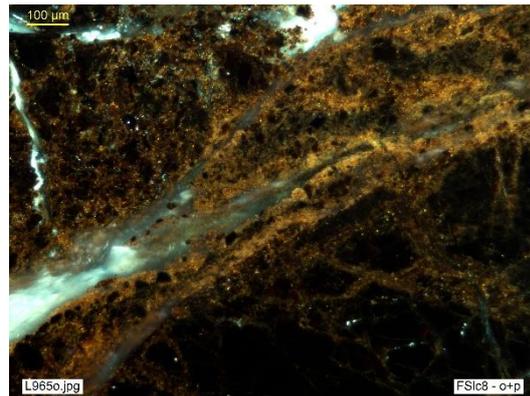
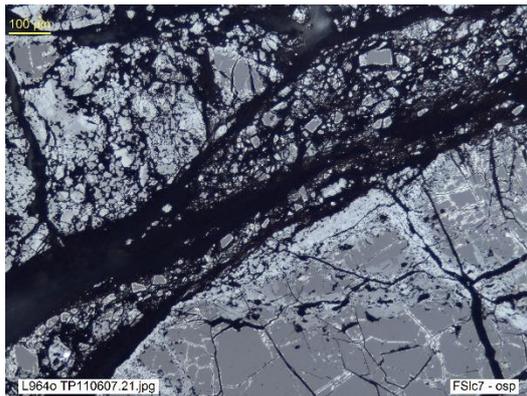
F FSlc3 y F FSlc4: (Misma escena: **osp** y **o+p**, *resp*) Detalle de F FSlc1 (cuadrante sup dcho ampliado: **osp** y **o+p**, *resp*): en inmersión se anula el brillo de gg y, con ello (*osp*), dejan de distinguirse **q** y biotita **bio**, pero con analizador (*o+p*) se individualiza mejor la mica (comp. **FSlc2**).

F FSlc5 y F FSlc6 (Misma escena: **dsp** y **o+p**, *resp*). Mena de W (wolframita **wf**, gris muy claro; scheelita **sch**, gris claro) en ganga de **q** (gris oscuro, buen pulido) y **mica** (gris oscuro, mal pulido o aspecto irregular); **sch**, secundaria

de **wf**, reemplaza también la mica, de la que quedan relictos, recortados siguiendo los planos de exfoliación. CR 306, Mina As Sombras, Lovios (Orense).

Sus reflectancias teóricas son, en líneas generales, similares a las de cuarzo y Fs. Aunque los valores máximos, n_v , de los índices de refracción de *bio* (biotita) y de Chl (n_v hasta ≈ 1.69 y 1.60 , resp) superan los de *q* y, ligeramente, los de Plag, sólo en condiciones de excepcional contraste, buen pulido y orientación adecuada llega a apreciarse la diferencia como tono más claro o mayor brillo, percibido por el ojo (**F FS1c1**). Habitualmente, por el contrario, se ven todavía más oscuros que *q* (**F FS1c5**, **F FS1c11**).

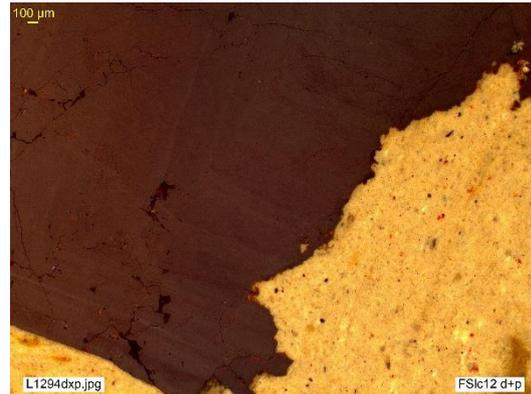
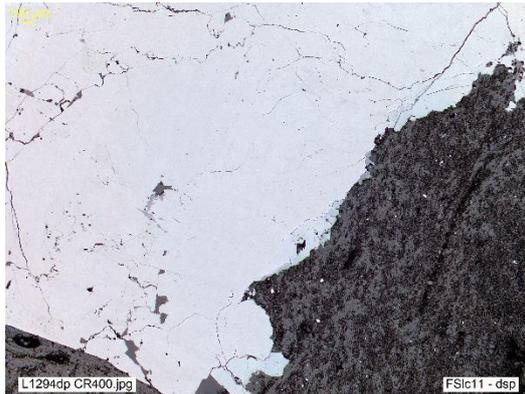
La finísima granulometría de *Arc* y *srp* no facilita la distinción de sus propiedades cristalinas con microscopio óptico (**F FS1c13-14**). Tampoco la reflectancia calculada a partir de sus valores n - función de Fresnel- marca una diferencia apreciable con la de *q* y Fs, pero con frecuencia pueden diferenciarse por la peor *calidad de pulido*. Ésta es, a menudo, deficiente en los minerales de *ser* y *Arc* por efecto de su escasa dureza y de los consecuentes arranques producidos en el proceso de pulido. El resultado es una superficie irregular y porosa, que necesariamente se ve más oscura al microscopio (**F FS1c11**), por no ser posible una reflexión especular perfecta del haz incidente, como la que resultaría sobre una superficie lisa, bien pulida.



F FS1c7 y **F FS1c8** (Misma escena: **osp** y **o+p**, resp). Microcizalla en cromitita podiforme (gris), alterada y cementada por FS1c (*invisibles*, **osp**: parecen huecos negros), reconocibles como serpentina *srp* y arcilla *Arc* por sus RI verdes y pardo-amarillentas (resp, **o+p**). TP110607.21, Mina Tapo (Tarma, Deptº Junin), Perú.

F FS1c9 y **F FS1c10** (Misma escena: **osp** y **o+p**, resp). Alteración metasomática de cromitita (cromitita *chr*: relictos grises) a ferritcromitita (gris claro) y magnetita *mt* (parece blanca), con formación de clorita *Chl* (negra, euhédrica, *osp*; RI incoloras a pardo-amarillentas, *o+p*), en laminillas orientadas según direcciones octaédricas de *mt*, y de *srp* intersticial (negra; RI verdosas, *o+p*). TP110607.21, Mina Tapo (Tarma, Deptº Junin), Perú.

El color transmitido por las RI *-d+p* u *o+p*- ayuda a veces a identificar srp (RI verdosas: **F FS1c7** y **F FS1c8**), chl (RI verde-azuladas a incoloras: **F FS1c9**, **F FS1c10**), Arc (incoloras - **F FS1c12**- a pardo-amarillentas, intensamente coloreadas a veces por impregnación de óxidos de hierro: **F FS1c8** y **F FS1c10**, **F FS1c14**). Asimismo, la *exfoliación* permite reconocer las micas, si por fortuna se encuentran las orientaciones adecuadas para hacerla visible (*cf* **F FS1c1** a **F FS1c4**), aunque muchas veces es imperceptible o sólo puede inferirse a partir de otras observaciones (*vbgr.* rasgos de alteración: **F FS1c5** y **F FS1c6**). Además, la *morfología* tabular u hojosa puede ser una ayuda útil (*vbgr.* chl: **F FS1c9**; bio: **F FS1c1** y **F FS1c4**).



F FS1c11 y **F FS1c12** (Misma escena: **osp** y **oxp**, *resp*). Mena de columbotantalita **cbt** (blanco-grisácea) con gg cuarzo-feldespática sericitizada (gris oscuro, con pulido deficiente y arranques en las zonas alteradas, ser-Arc, *osp*; RI luminosas, *oxp*). CR 400, Borborema, Brasil.

F FS1c13 y **F FS1c14** (Misma escena: **osp** y **o+p**, *resp*). Intercalaciones arcillosas (gris-negro, *dsp*; RI muy luminosas, incoloras a pardo-amarillentas, *dpx*) en limonita **lim** (gris claro). TF Pn6, Mina Sar, Santiago de Compostela.

Es interesante notar, comparando bio y q (**F FS1c1** a **F FS1c4**), que cuando hay pequeñas diferencias de *reflectancia* entre PS1c y los demás componentes de gg, éstas se aprecian mucho mejor en aire que en aceite: en efecto, con objetivo seco (**F FS1c1**) se puede percibir netamente el mayor brillo de bio (se ve más clara que q, aunque la diferencia sea pequeña), mientras que en inmersión (**F FS1c3**) la reducción de R es tan marcada que ambos minerales *desaparecen* (se ven negros) y la diferencia entre ellos resulta imperceptible al ojo: ya no se pueden distinguir por el brillo, ni siquiera por la morfología. Por el contrario, la morfología y la exfoliación se perciben mejor con analizador (comp. **F FS1c1** y **-2**, **F FS1c3** y **-4**) y, por reforzarse las RI, más claramente en inmersión (**F FS1c4**) que en aire (**F FS1c2**).

Para concluir brevemente con su reconocimiento:

- En general, los FSLc pueden caracterizarse por su morfología tabular u hojosa (a veces inapreciable por su fina granulometría), su escasa dureza, su tono gris oscuro acentuado por la irregular calidad de pulido, su exfoliación (no siempre visible) y, en algunos casos, por su frecuente carácter secundario (vbgr. alteración q-ser de Fs en yacimientos epitermales y porfídicos).
- No obstante, el distinguirlos entre sí para lograr la identificación precisa de la especie de FSLc, supera las posibilidades de la observación con LR.

Inosilicatos

Piroxenos, Px, y anfíboles, Anf, tienen en común sus características estructuras en cadena, que se manifiestan en una morfología prismática o tabular, frecuentemente euhédrica o subhédrica, bien diferente de la hojosa de los filosilicatos. Comprenden una gran diversidad de especies, rómbicas o monoclinicas, y una gran variedad composicional que, si ya desafía la definición precisa con LT, requiriendo el apoyo de otras técnicas analíticas (DRX, microsonda, MEB, etc.), hace la identificación con LR en general cuestionable y frecuentemente imposible (cf. **F Anf1** y **F Anf2**).

En efecto, las propiedades diagnósticas con LT (como color, índice de refracción o relieve, hábito, pleocroísmo, exfoliación, ángulo de extinción, **n**, colores de interferencia, maclas, alteraciones y determinaciones de propiedades como la figura de interferencia y de parámetros como el ángulo 2V y el signo óptico) no pueden determinarse con LR, sino solamente estimarse. Y, de todas ellas, nada más que dos o tres:

- ✓ la *morfología*, cuando se manifiesta su tendencia euhédrica;
- ✓ el *brillo* (cualitativamente estimado, *proxy* de la reflectancia y ésta, del índice de refracción, fórmula de Fresnel)
- ✓ y, con suerte, la *exfoliación* y, en particular el típico *ángulo de intersección* de los dos planos de exfoliación: 57° en los anfíboles y 93 ° en los piroxenos (y en éstos, raramente visible).

No siendo posibles mayores precisiones, se describen conjuntamente, tal como pueden observarse al microscopio de reflexión (**F Px1** y **F Px2**; **F Anf1** y **F Anf2**):

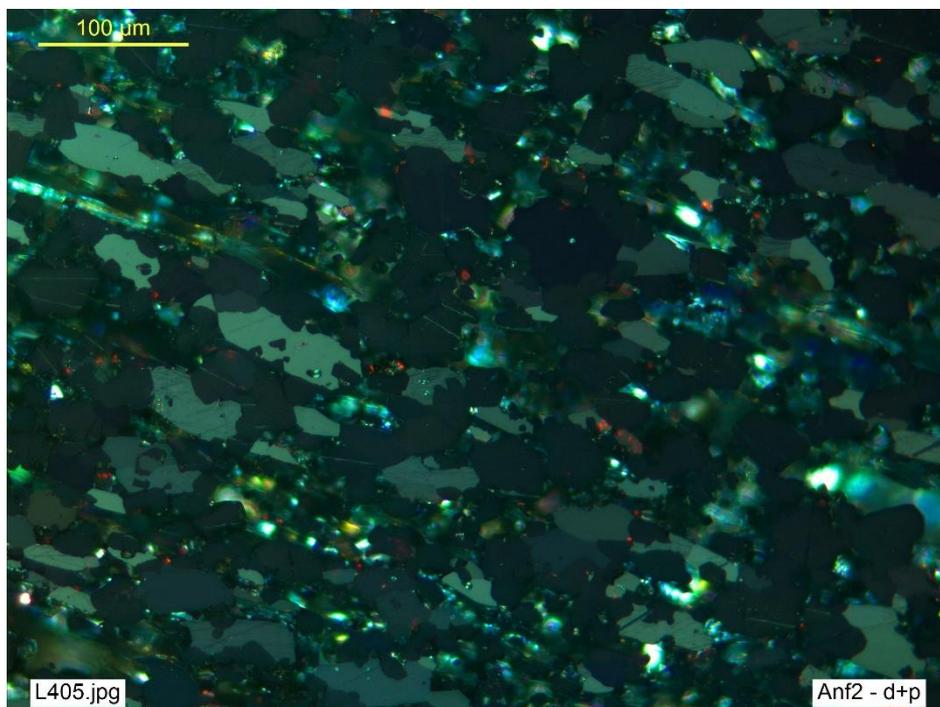
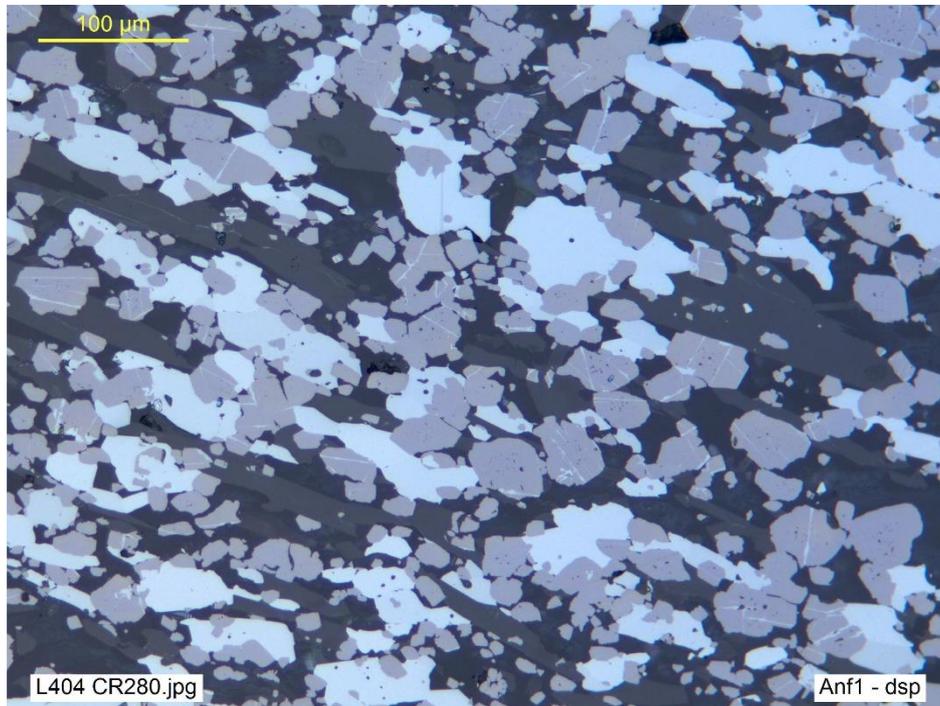
- Px y Anf se pulen generalmente bien, como corresponde a su elevada dureza y cohesión.
- Su morfología más típica es prismática, tabular o acicular y, si aparecen secciones basales, pueden apreciarse a veces los ángulos de exfoliación (secciones hexagonales ≈ 57°: Anf; secciones octogonales ≈ 93 °: Px, más difícilmente observables).
- Aspecto poco llamativo, monótono (no se aprecia el pleocroísmo): color gris, oscuro frente a la mayor parte de las menas (incluso chr), pero algo más claro que la resina o el cuarzo y también, habitualmente, que la plagioclasa o el apatito.
- Las reflectancias, **R**, dependiendo de los valores de n (índices de refracción), que varían ampliamente según la especie y la composición, podrían estimarse, con aproximación razonable en general, según la secuencia descendente:

$$R_{Px} (\approx 7.4 \%) > R_{Anf} (\approx 6-6.5 \%) > R_{Plag, ap} (\approx 5 \%) > R_{q, resina} (\approx 4.5 \%),$$

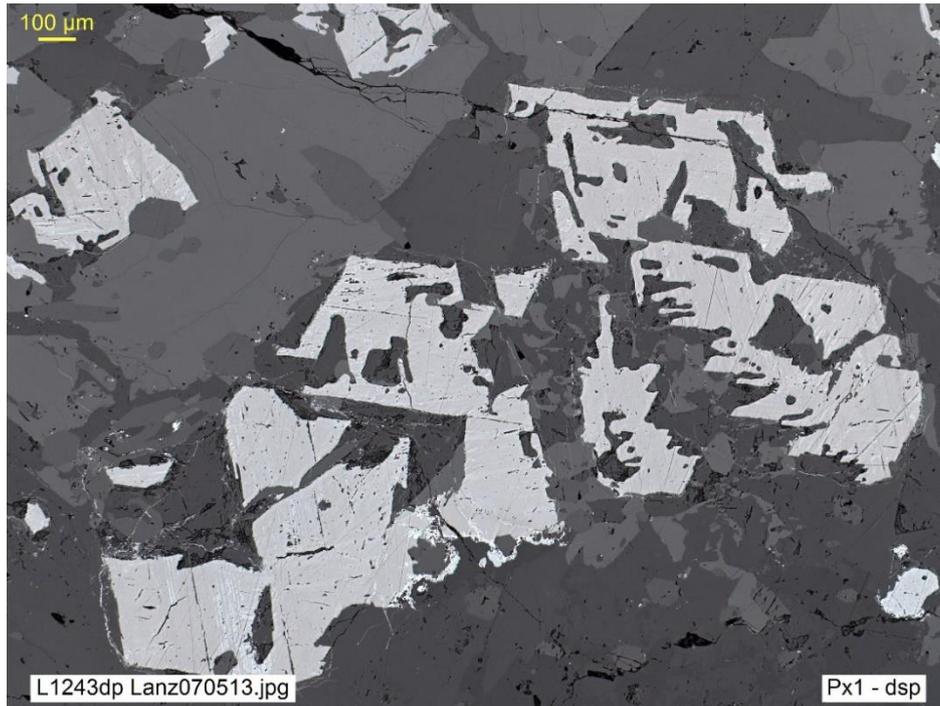
es decir, se ven en un tono gris progresivamente más oscuro en el orden Px-q.

- Con analizador, las reflexiones internas impiden apreciar anisotropismo y maclas.

Una orientación importante para su reconocimiento es la paragénesis. Se trata de minerales que, aunque no son raros en la corteza terrestre, tienen una presencia en yacimientos minerales restringida a algunos tipos: sobre todo yacimientos metamórficos y metasomáticos de contacto (*skarn*: anfíboles, con acompañamiento frecuente de granate, epidota, piroxenos, etc.) y yacimientos magmáticos Fe,Ni-Cu, Cr, EGP... ligados a rocas máficas y ultramáficas (piroxenos, con olivino, serpentina, plagioclasa, etc.).



F Anf1 y **F Anf2** (Misma imagen: **dsp** y **d+p**, *resp.*). Esquisto cuarzo *q*-actinolita-magnetita *mt*-hematites *ht* (Formación Bandeada de Hierro, *BIF*): el hábito prismático, causa (con el de hematites *ht*) de la textura orientada, grano-nematoblástica, de la roca, y el brillo ligeramente más alto ($R >$) que *q* identifican el anfíbol (actinolita, DRX; no muestra propiedades diagnósticas con LR). CR280, BIF Harare, Zimbabwe.



F Px 1.- Pegmatoide de gabro alcalino: *Px* (Ti-augita: gris intermedio, sup izq), *Ti-mt* (gris pardusco claro, centro) y *Plag* (gris oscuro, ubicuo). Reflectancias, **R**, decrecientes $R_{mt} (\approx 21\%) > R_{Px} (\approx 7.4\%) > R_{Plag} (\approx 4.6\%)$. Morfología: *mt*, agregados esqueléticos; *Px*, grandes fenocristales prismáticos; *Plag*, intercrecida con ambos (ocasionalmente symplectítica) o intersticial, anhédrica y aparentemente tardía. Escasos *ap*, euhédrico (secciones hexagonales o aciculares) y posible anfíbol (¿*hb*?, secciones hexagonales y tabulares), gris, más claro que *Plag* y más oscuro que *Px* ($R_{Anf} \approx 6-6.5\%$, entre R_{Px} y R_{Plag}). Muestra 070513, Lanzarote (**dsp**).

F Px 2 (Misma imagen F Px1: **d+p**) Estructuras *Widmanstätten* de *mt*. La abundancia y luminosidad de las **RI**, Reflexiones Internas, ocultan otras propiedades de *Px*, *Plag*, *ap* y *hb*, al tiempo que evidencian la meteorización u oxidación incipiente de *mt*, con una intensa impregnación limonítica reconocible por las típicas **RI** rojas y pardo-amarillentas (*resp*: hematites **ht** y goethita **gth**) en su entorno.

<

Otros silicatos

Olivino (*ov*, $\langle \text{Fe}^{2+}, \text{Mg} \rangle_2 \text{SiO}_4$, ortorrómbico), muestra en LR, como los inosilicatos, pocos rasgos diagnósticos:

- ✓ dureza de pulido alta ($\geq \text{mt}$, $< \text{py}$), buen pulido;
- ✓ color gris, monótono, sin birreflectancia o pleocroismo apreciables;
- ✓ reflectancia, R, baja pero notable para ser gg (**F ov1**) y muy dependiente de la composición, debido a la diferencia entre los índices de refracción del término magnesiano, forsterita ($n_\beta \approx 1.65$ y $R \approx 6\%$, comparable a barita **bar** y $>$ serpentina **srp**), hasta el ferrífero, fayalita ($n_\beta \approx 1.87$ y $R \approx 9\%$, comparable a Grt);
- ✓ RI constantes (**F ov2**);
- ✓ efectos de anisotropismo no perceptibles;
- ✓ frecuente alteración a *srp*.

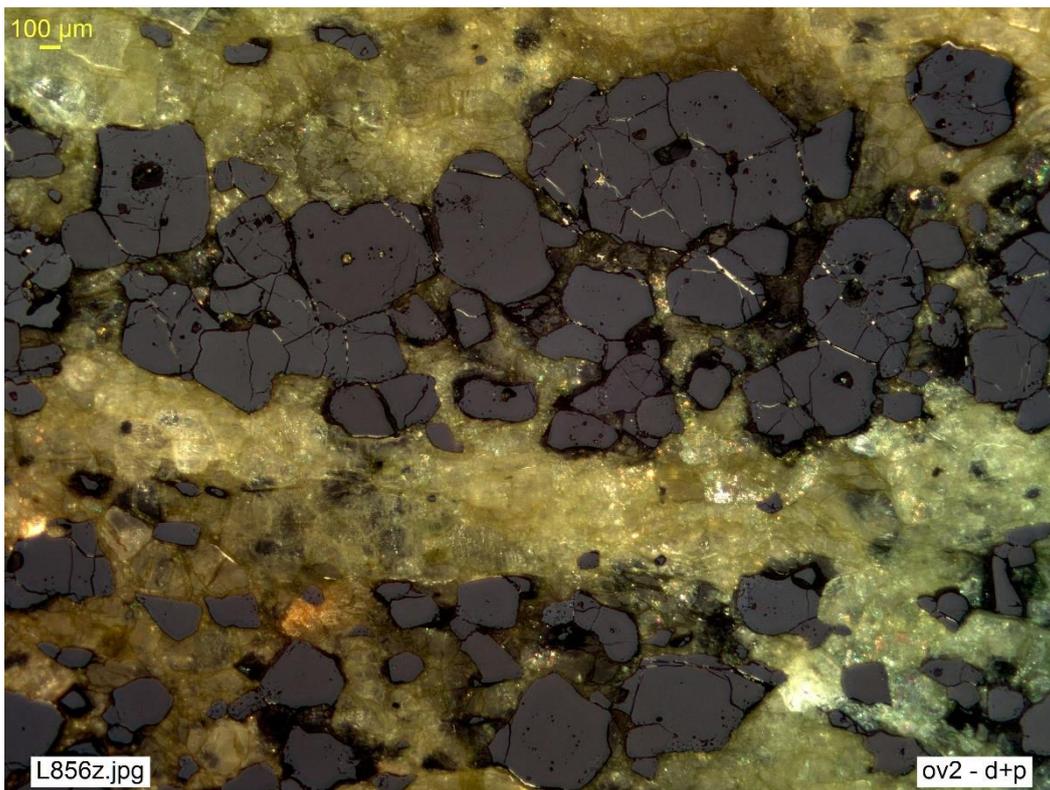
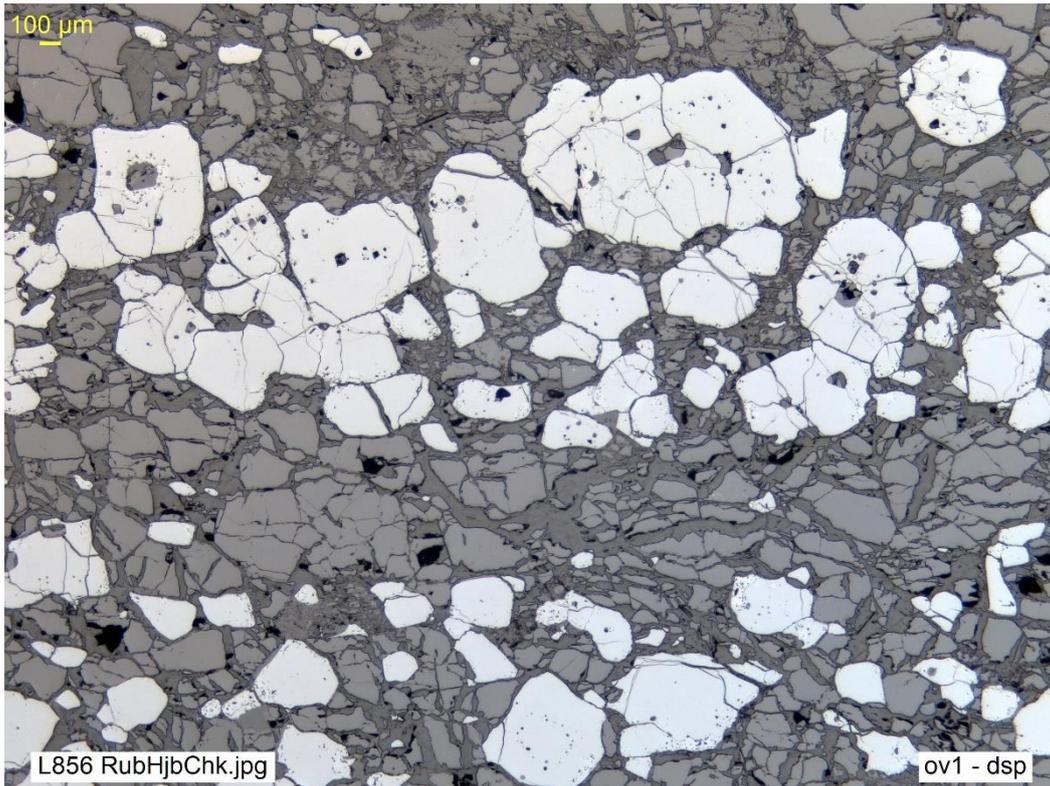
No obstante, su paragénesis restringida es una orientación importante. Se encuentra típicamente asociado a *chr* y *srp* en yacimientos ortomagmáticos ligados a rocas ultramáficas (complejos intrusivos y ofiolitas, resp.) o en yacimientos ferríferos metamórficos de contacto (fayalita); además, el término Mn -tefroita- en algunas paragénesis manganíferas (Sterling Hill Mine, New Jersey, USA).

La frecuente textura cumulática de las formaciones ultramáficas con cromitita y *ov* dificulta el desarrollo de formas euhédricas de *ov*, pero suele presentar texturas granoblásticas, en las que aparecen asociados *chr*, *ov* y *srp* (**F ov1** y **F ov2**), ofreciendo dos claves útiles para el reconocimiento:

- puede compararse directamente el tono de gris de los tres componentes, cada vez más oscuro de *chr* a *srp*: $R_{\text{chr}} (\approx 12\%) \gg R_{\text{ov}} (\approx 7\%) > R_{\text{srp}} (\leq 5\%)$, con un contraste fuerte de R entre *chr* y *ov* y, más moderado, entre *ov* y *srp*;
- se hace visible la dureza notablemente mayor de *chr* y *ov*, que aparecen en relieve sobre *srp*.

Estas texturas aparecen frecuentemente modificadas por deformación, sobre todo en yacimientos podiformes u ofiolíticos, con *ov* y *chr* cataclásticos (**F ov1**). Aunque pueden encontrarse frescas, las texturas son muchas veces relictas, a pesar de lo cual se reconocen sin dificultad porque la paragénesis secundaria replica normalmente las formas primarias de *ov*:

- ya sea por alteración hipogénica a serpentina, en profundidad;
- ya por alteración supergénica, en condiciones oxidantes, generalmente a *iddingsita*, agregado pseudomorfo ferruginoso, con *gth* y *ht* submicroscópicos.



F ov1 y **F ov2** (Misma escena: **dsp** y **d+p**, *resp.*). Microbandas de cromita **chr** (gris muy claro, *dsp*; en extinción, *d+p*) y de olivino **ov** (gris cataclástico y serpentizado (matriz de serpentina **srp**: gris oscuro, *dsp*). Se reconoce **ov** por su tono gris intermedio, mucho más oscuro que **chr** y menos que **srp** (*dsp*); y por su alta dureza de pulido, que lo hace sobresalir en relieve sobre **srp**; también, por las **RI** incoloras a verdeamarillentas generalizadas, que impiden percibir la extinción (*d+p*). Muestra RubHjb-20, Chalkidiki, Grecia.

Los **granates**, *Grt* ($X_3Z_2[SiO_4]_3$, cúbico), con

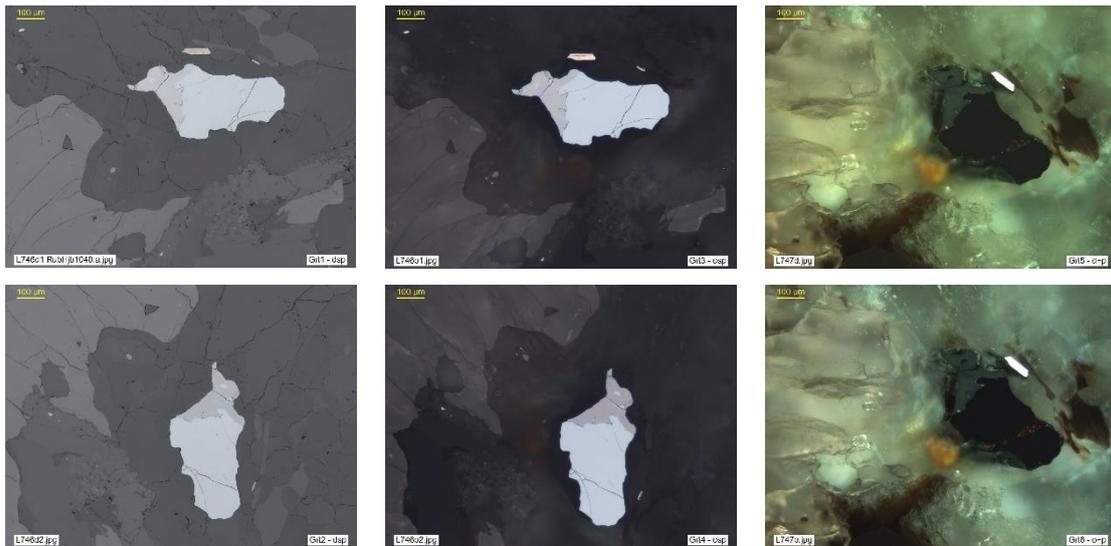
X = Mg, Ca, Fe²⁺, Mn²⁺, etc.

Z = Al, Fe³⁺, Cr³⁺, V³⁺, etc.

forman un amplio grupo con grandes variaciones composicionales, cuyas especies no pueden identificarse debidamente con LR, pero sí caracterizarse en conjunto por algunas propiedades comunes (**F Grt1** a **Grt4**), como son:

- ✓ su elevada dureza, de rayado (7-7½) y de pulido,
- ✓ su tendencia euhédrica, pero con morfología globulosa, isométrica (simetría cúbica),
- ✓ su color gris monótono (no pleocroico) sin brillo, pero más claro que los minerales de gg habituales, como corresponde a sus índices de refracción $n > 1.7$,
- ✓ su relativamente amplio rango de reflectancias que comprende desde $R \approx 7\%$ (piropo, $n \approx 1.71$) hasta $R \approx 9.5\%$ (andradita, $n \approx 1.89$)
- ✓ con analizador (**d+p** y **o+p**), frecuentes RI y ausencia de efectos de anisotropismo.

Pueden encontrarse alterados, sobre todo a Chl, pero también a oxi-hidróxidos de Fe o limonita, habitualmente pseudomorfos.



F Grt1 y **F Grt2** (Mismo campo, rotando la platina 90° al pasar de 1 a 2, **dsp**). Migmatita granatífera: cuarzo (**q**: gris oscuro, componente principal), granate (**Grt**: gris claro, **F Grt1**: áng inf izq), biotita (**bio**, hojosa, gris intermedio entre **q** y **Grt**), rutilo (**rt**: blanco), ilmenita (**il**: pardo rosado y anisótropo), grafito (**gra**: laminar, pardo grisáceo a gris, pleocroismo y anisotropismo extremos). Secuencia R decreciente: $rt > gra-R_o > il > Grt > bio > gra-R_e > q$. La rotación confirma la isotropía de **Grt**, frente a la fuerte birreflectancia de **gra**, que pasa de $R_o > il$ (**F Grt1**) a $R_e \leq bio$ (**F Grt2**). Muestra *RubHjb1040.a*, Sikkim, Himalaya.

F Grt3 y **F Grt4** (Misma escena que **F Grt1** y **F Grt2**, resp: **osp**). La reducción de R por la inmersión hace *invisibles*, prácticamente, **q** y **bio**, pero aumenta el contraste de **Grt**, **rt**, **il** y **gra**.

F Grt5 y **F Grt6** (Mismo campo de **F Grt1** y **Grt3**, **d+p** y **o+p**, resp, rotando la platina 45°). No hay extinción de **Grt**, por efecto de las RI. En esta posición se observa el *anisotropismo extremo de gra*.

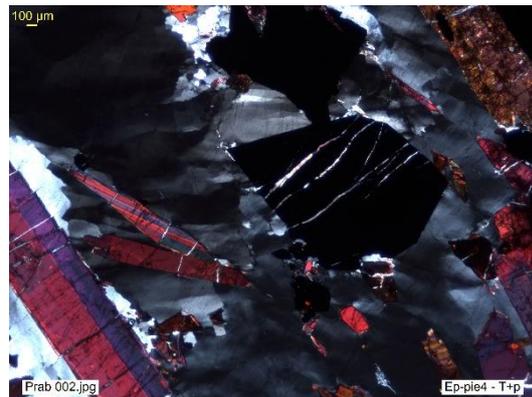
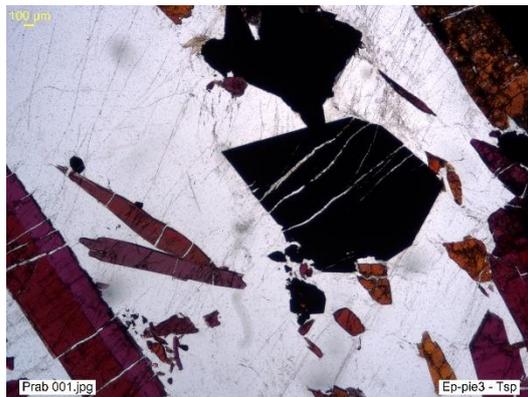
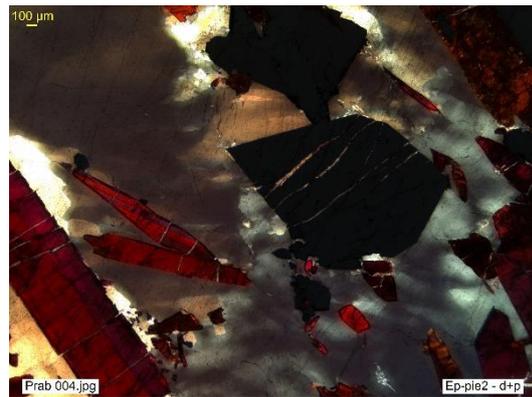
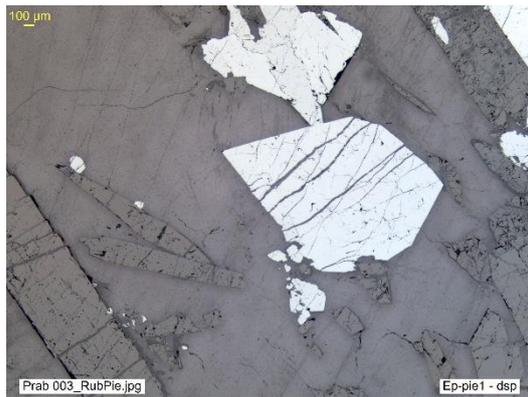
Epidota, *Ep*, da nombre a un grupo de varios silicatos rómbicos y monoclinicos con Ca, Al, Fe, Mg, (Ti) y, en algunas especies, también con Tierras Raras (Ce, Y: *allanita*) o Mn (*piemontita*). Cuando se habla en un sentido general (*Ep sl*), se suele entender cualquiera de ellos, sin especificar, a pesar de que epidota (*s.str.*) es también una especie del grupo. Aunque petrográficamente pueden identificarse al menos las más comunes de estas especies, tal distinción no es posible con luz reflejada (exceptuando algún caso, como *piemontita*, *pie*). Por ello y por compartir las propiedades que pueden observarse con LR, la caracterización se refiere también al grupo, lo mismo que se ha hecho con las plagioclasas, los inosilicatos y el granate.

En LR no es fácil distinguir *Ep* de los inosilicatos, particularmente de *px*, con los que tiene en común varias propiedades, como:

- ✓ la morfología tabular, prismática o acicular;
- ✓ el color gris oscuro, aunque no tanto como la resina y algo más claro que *px*;
- ✓ la reflectancia, *R*, baja (cf [F gg1.d](#) y [F gg2.d](#)), variable según la orientación y la especie; pero se estima -sobre un valor intermedio ($n_{\beta} \approx 1.75$) del índice de refracción de la especie que da nombre al grupo, *ep*- como valor teórico $R \approx 7.4\%$, comparable pero ligeramente más alto que el $R \approx 7\%$ obtenido para *px* (*augita*, para $n_{\beta} \approx 1.72$);
- ✓ las RI suelen hacer imperceptibles los efectos de anisotropismo, a diferencia de los vivos colores de interferencia habituales en LT.

En algunos casos afortunados, los colores de *Ep* (ya sea el color natural del mineral, ya los colores de interferencia, que pueden ser muy vivos y llamativos) se transparentan con LR a causa de las RI y facilitan la identificación. Las figuras [F Ep-pie1](#) y [F Ep-pie2](#) ilustran las propiedades de un mineral del grupo *Ep* que puede reconocerse con LR. Se trata de **piemontita**, *pie*, la especie manganífera de *Ep*. Y, para comparación, se muestran las mismas imágenes con LT ([F Ep-pie2](#) y [F Ep-pie4](#)), como referencia que confirma la identificación.

En términos prácticos, el reconocimiento de *Ep* orienta en general hacia paragénesis calcosilicatadas, que pueden estar relacionadas con importantes y variados yacimientos metálicos, como ocurre típicamente con las concentraciones de skarn.



F Ep-pie1 y **F Ep-pie2** (Misma escena: **dsp** y **d+p**, *resp.*). Veta de cuarzo **q** (gris, masa principal), con piemontita **pie** (gris claro, prismática o acicular) y jacobita **jac** (idiomorfo, blanco grisáceo, centro). Con analizador (Ep-pie2), se observa la extinción de **jac** (isótropo). Y la iluminación parcial, por efecto de las RI, de **q** (con marcada extinción ondulante) y de **pie** (típicos colores pardo-rojizos). RubPie, Praborna, Val d'Aosta, Italia.

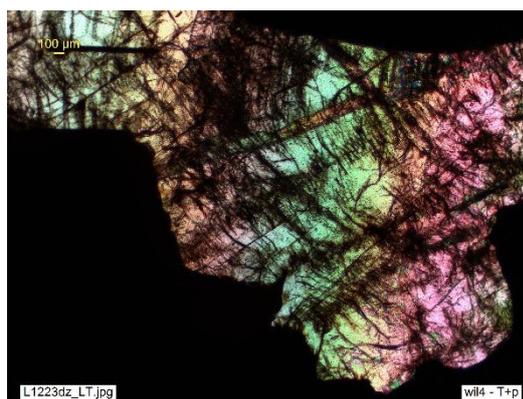
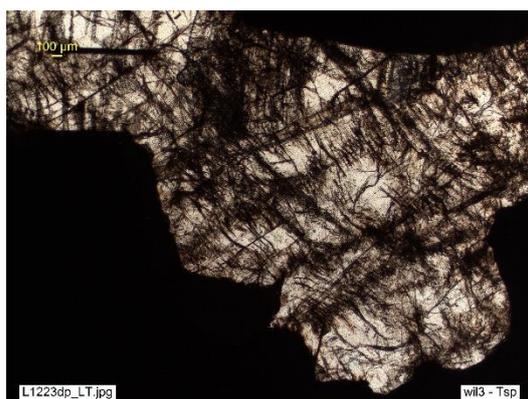
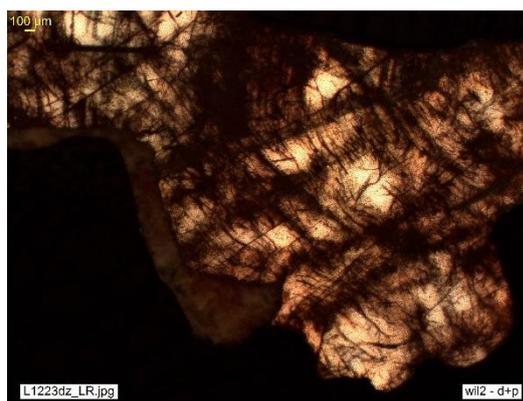
F Ep-pie3 y **F Ep-pie4** (Misma escena de *F Ep-pie1*, vista con LT: **Tsp** y **T+p**, *resp.*). *F Ep-pie3*: **q** (blanco, inclusiones fluidas en microfisuras) y **pie** (prismática, relieve, pleocroica en tonos rojizos y pardo-violáceos a amarillentos). *F Ep-pie4*: Maclas polisintéticas y colores interferencia vivos (en parte obliterados por el color del mineral) de **pie**. Notable deformación tectónica (extinción ondulante de **q**, microfisuras soldadas por moscovita en **pie** y **jac**).

El silicato **willemita**, (*wil*, Zn_2SiO_4 , trigonal) no es habitual como mineral de ganga, a no ser en yacimientos de Zn meteorizados, como producto secundario de oxidación, principalmente del sulfuro esfalerita. No obstante, llega a concentraciones económicas, junto con otros minerales oxidados de Zn, en los depósitos del tipo conocido como *yacimientos oxidados de Zn*. Excepcionalmente (Sterling Hill, N. Jersey), como mena supuestamente primaria, metamórfica y masiva, en concentraciones importantes.

Habitualmente se presenta en zonas de oxidación de yacimientos sulfurados de Zn y se forma, general pero no exclusivamente, por meteorización descendente: monteras ferruginosas, depósitos de gossan, etc. Como acompañantes, aparte de los relictos de menas primarias de Zn que puedan haberse conservado o de los típicos componentes del gossan (lim, gth, jar, etc.), pueden encontrarse: franklinita, $ZnFe_2O_4$ (Sterling Hill, **F wil1** a **F wil4**); zincita, ZnO; hemimorfita, $Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$; hidrocincita, $Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$; smithsonita ($ZnCO_3$), entre otros.

Con luz reflejada, wil se ve gris, notablemente más oscuro que su frecuente acompañante franklinita (**F wil1**), pero no tanto como el q; su reflectancia, R, es la propia de un mineral transparente, pero refringente: teóricamente, $R \approx 6.7\%$ (según la fórmula de Fresnel, para un valor $n \approx 1.7$), es decir, entre ov y grt piropo. Con analizador (*d+p*) y tal como podría esperarse, las RI obliteran el anisotropismo (**F wil2**).

Su reconocimiento con LR es, por tanto, genérico e impreciso, pero posible a grandes rasgos teniendo en cuenta sus acompañantes: la paragénesis específica de menas de Zn oxidadas es, junto con el entorno geológico, un dato decisivo. No obstante, tratándose de un silicato y, como tal, de un mineral transparente, debe caracterizarse con el microscopio petrográfico: trigonal; incoloro; relieve elevado ($n_\omega \approx 1.69$, $n_\epsilon \approx 1.72$); birefringencia $\delta = 0.028$ (colores de segundo y tercer orden), anisótropo y con vivos colores de polarización, uniaxial +. Como referencia, las figuras **F wil3** y **F wil4** muestran con LT la misma escena que en **F wil1** y **F wil2** se observa con LR.

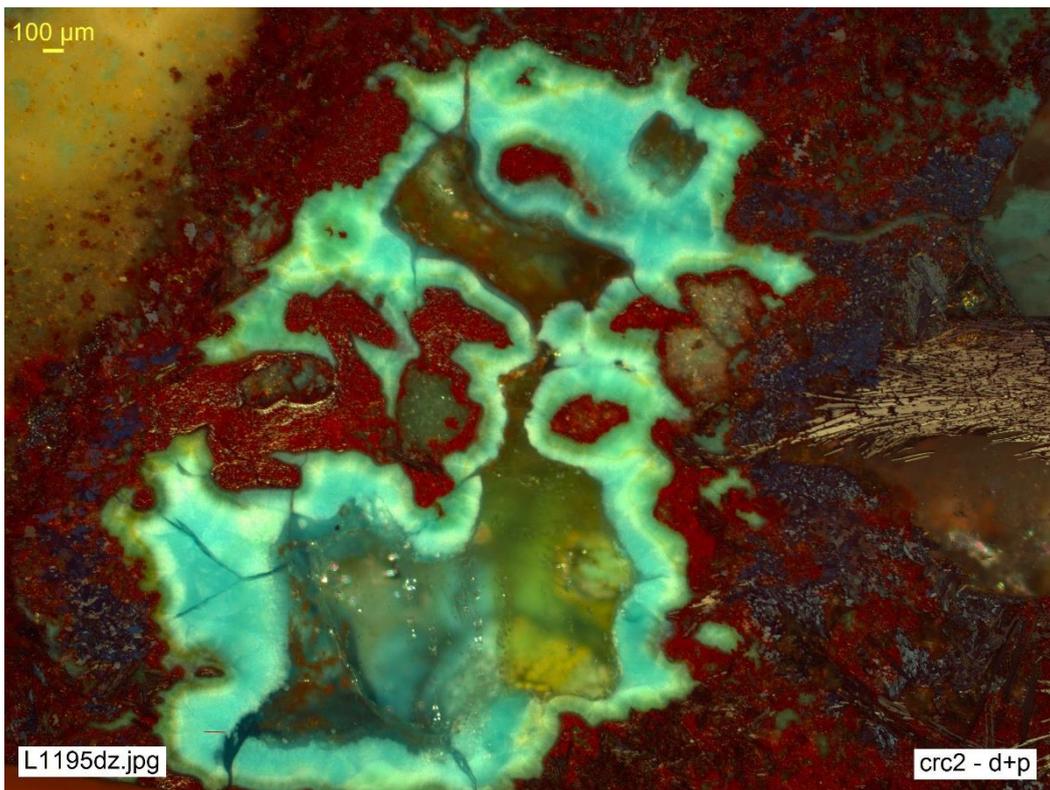
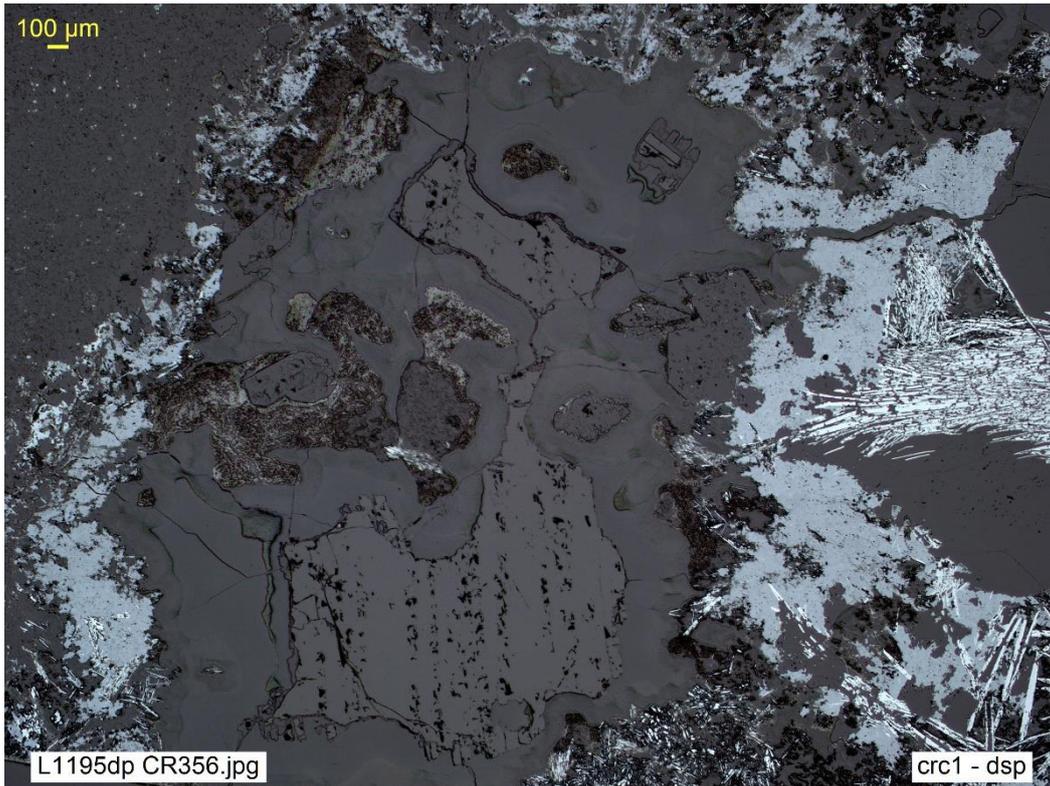


F wil1 y **F wil2** (Misma escena, **dsp** y **d+p**). Mena masiva de willemita **wil** (gris oscuro, centro) y franklinita **fk** (blanco grisáceo). CR 394, Sterling Hill Mine, Sussex County, New Jersey, USA.

F wil3 y **F wil4** (Misma escena de **F wil1**, vista con luz transmitida: **Tsp** y **T+p**, *resp*). Nótese el relieve (refringencia, n , elevada) de **wil** (**Tsp**) y su birrefringencia (**T+p**, colores de interferencia hasta tercer orden), que contrastan con la opacidad de **fk**.

La **crisocola** (**crc**, $\langle \text{Cu}, \text{Al} \rangle_2 \text{H}_2 \text{Si}_2 \text{O}_5 \langle \text{OH} \rangle_4 \cdot n \text{H}_2 \text{O}$, ortorrómbico), aunque se trata aquí como ganga silicatada, puede formar parte de la mena, en el importante tipo conocido como *yacimientos oxidados de cobre*, junto con minerales como cuprita, malaquita o azurita, entre otros, que han sido descritos entre las menas.

A pesar de su inequívoco color verde o verde azulado (parecido a turquesa) en muestra de mano, al microscopio se ve de color gris oscuro (**F crc1**), como corresponde a su reflectancia estimada ($R \approx 5$ a 5.5 %, para $n \approx 1.6$). Sólo con analizador (**d+p**: **F crc2**) se percibe, como intensa luminosidad difusa, el vivo color verde o turquesa de sus **RI** (reflexiones internas), que la distinguen de inmediato y, por otra parte, ocultan su anisotropismo. Éste, de todas formas, sería casi siempre imperceptible a pesar de tratarse de un mineral ortorrómbico, por la baja o nula cristalinidad de sus agregados e incrustaciones, habitualmente botrioidales, criptocristalinas o amorfas.



F crc1 y **F crc2** (Misma escena: **dsp** y **d+p**, *resp.*). Brecha mineralizada con óxidos de cobre y hierro. Geoda con relleno secuencial por un fino agregado de cuprita **cup** (gris azulado claro) y hematites **ht** (blanca, acicular y pulverulenta), sellado por incrustación de crisocola **crc** criptocristalina (gris oscuro, *dsp*) con poros rellenos finalmente por limonita **lim** (gris-negro, *dsp*). Se reconoce **crc** por sus reflexiones internas verde-turquesa generalizadas, que contrastan con el tono rojo intenso de **RI** de limonita **lim**, cuprita **cup** y hematites **ht** pulverulentas (*d+p*). El anisotropismo de **cup** (con tonos verde-azulados) y de **ht** (intenso, pero poco coloreado) confirman su identidad. CR 356, Mina San Antonio, Sonora, México.

