

també són coneguts com a *bacteris miners*, ja que abunden en moltes mines metal·líferes (de Fe, de Cu, etc.) i són responsables de contaminació dels terrenys i les aigües amb metalls tòxics i àcid sulfúric resultant de l'oxidació bacteriana dels sulfurs (pirita, calcopirita): un cas molt cèlebre és el del riu Ohio, però també del riu Tinto (encara que molta de la "contaminació" és natural, molt anterior a l'antiquíssima explotació minera). Avui dia, els humans han après a fer servir aquests bacteris per lixiviar les escombreres de les mines a cel obert i obtenir de franc de l'activitat microbiana l'alliberament i concentració de metalls molt valuosos, però inexplorables directament sense les transformacions bacterianes prèvies.

Un altre bacteri (bé, de fet és un arqueobacteri, molt diferent dels

veritables bacteris) de medis extrems, molt àcids i calents, és el termoacidòfil *Sulfolobus acidocaldarius*, descobert a Yellowstone, al Moose pool, on creix gairebé com en un cultiu pur, en concentracions tan altes com de cent milions de cèl·lules per mil·lilitre.

Encara hi ha els bacteris *reductors del ferro*, que fan el procés contrari als anteriors: en lloc d'oxigen respiren ferro (sí, tal com sonat). En la cadena respiratòria cel·lular, en lloc d'actuar l'oxigen com a acceptor final d'electrons i promoure l'oxidació, el que hi ha és FeIII, que aleshores es converteix en FeII (reduït) tot oxidant la matèria orgànica. Molts bacteris, a vegades amb noms científics ben expressius, fan això, però són anaeròbics: *Geobacter metallireducens*, *Geovibrio ferrireducens*, *Desulfuromonas acetoxidans*, *Pelo-*

bacter carbinolicus, *Shewanella putrefaciens*, *Pseudomonas spp.*, *Bacillus spp.*, etc. Alguns d'ells acumulen magnetita extracel·lular. S'estan detectant partícules de magnetita en sediments que per la seva forma gairebé segur que són d'origen bacterià, una contribució a llarg termini dels bacteris en el cicle del ferro. La reducció bacteriana del FeIII a FeII és un dels principals medis de solubilització del ferro a la natura.

Com hem anat dient, les sorpreses mai no s'acaben amb els bacteris: recentment se n'han descobert uns que també oxiden el FeII en sediments pobres en oxigen i que usen el nitrat en lloc del gas per oxidarlo. I la cosa no acaba aquí... però ara potser que toquem fusta, que ja devem estar prou enrampats de tant tocar ferro!

NOTA

Dedico aquest escrit al meu gran amic Lluís Viladrich, company inoblidable i insubstituïble de tantes aventures naturalistes i intel·lectuals. Fou ell qui m'encomanà, crec que pels vols del Nadal de 2005, la realització d'un escrit sobre els aspectes naturals del ferro. Ell era el que podríem dir l'intermediari o agent de contacte entre l'Erol i jo. D'ara en endavant, l'estimada Montse agafarà el relleu. Moltíssimes gràcies a tots dos. A reveure, Lluís! Sempre ets amb nosaltres!

Josep M. Busquets Feixas
biòleg

DOSSIER

MONTSERRAT GORCHS

Ferro: fort i persistent?

Com és el ferro?

Des d'un punt de vista químic, el ferro presenta unes característiques molt notables: és molt dúctil; això vol dir que es pot estirar com un fil. És tenaç, es desadhereix molt difícilment, és mal·leable (es pot "trençar" en fines làmines) a temperatura ordinària i també és inelàstic. A 800°C es pot soldar amb ell mateix; entre 800 i 1000°C el ferro és fràgil (es torna pastós, es pot forjar), però retorna a la mal·leabilitat a una temperatura superior a 1000°C i, per això, els lingots de ferro són afaïçonats en calent (entre 1000 i 1300°C). El seu punt de fusió és de 1535°C i el punt d'ebullició 2750°C.

El ferro pur és un metall homogeni d'una gran conductibilitat, utilitzat en indústries elèctriques i de la calefacció. El ferro també

és un metall ferromagnètic, amb una permeabilitat magnètica molt elevada. S'imaneta en el camp magnètic, cessant la imanetació en acabar l'acció inductora.

Els isòtops naturals del ferro són, amb major abundància, un 91,7% amb massa atòmica 56, seguit d'un 5,8% amb 54, un 2,2% amb 57 i un 0,3% amb 58. La seva massa atòmica característica és de 55,847 g/mol. La seva densitat és de 7,85 g/cm³ a 20°C. S'han d'afegir com a propietats bàsiques la conductivitat tèrmica (a 25°C) de 0,804 W/cm.K i una resistivitat elèctrica (a 20°C) de 9,71 microhm.cm. És menys bon conductor que el coure.

L'estructura electrònica del ferro comporta un grau d'oxidació de +2 (compostos ferrosos) i també hi ha la formació de derivats fèrrics amb un grau d'oxida-

ció de +3. El ferro es combina amb tots els elements no metàl·lics, però no pas amb l'hidrogen. El ferro roent descompon l'aigua, que desprèn hidrogen, i és atacat fàcilment pels àcids diluïts; l'aigua pura i l'aire sec no l'ataquen a la temperatura ordinària, però l'aire humit i l'aigua airejada el corroïxen ràpidament, amb formació de rovell (Fe₂O₃·nH₂O); el valor de n és proper a 1. El ferro crema en atmosfera d'oxigen pur. A 700°C descompon el vapor d'aigua. El clor sec no ataca el ferro, la qual cosa permet transportar-lo en estat líquid en cilindres d'acer. En canvi, es combina, en presència de vestigis d'humitat. Escalfat al roig, ferro i flor de sofre, es forma sulfur. El ferro desplaça l'hidrogen dels àcids diluïts no oxidats, produint sals ferroses. Els àcids nítric i sulfúric

concentrats i freds no ataquen el ferro. Però l'àcid sulfúric concentrat i calent ataca el ferro. L'àcid nítric diluït i calent també oxida el ferro.

Els dos aliatges més importants del ferro són l'acer (unit amb el carboni, amb un percentatge inferior al 1,9%), mal·leable i la *fosa* o *ferro colat* (amb un percentatge entre un 1,9% i un 6%).

Les propietats mecàniques dels acers depenen del contingut en carboni i de la velocitat de refredament o tractament tèrmic que rebien. El resultat però, és realment de persistència, podent comunicar elasticitat, ductilitat, mal·leabilitat, duresa o resistència a la ruptura segons quin sigui el procés de refredament. Per tant, allò que no té el ferro ho assoleixen els descendents aliats, en aquest cas l'acer!

Com s'obté el ferro?

Es troba, en estat nadiu, a Groenlàndia i, als meteorits, en estat pur.

Es pot aconseguir de diverses maneres a partir dels minerals que el contenen: per calcinació de la siderita (carbonat de ferro) i reducció dels òxids de carboni a l'alt forn, obtenint un aliatge de ferro ric en carboni; per descarburació, aconseguint esponja de ferro...

Les menes més explotades són la magnetita (Fe_3O_4), l'hematites (Fe_2O_3) i la siderita (FeCO_3).

Ferro mineral forjat al Berguedà

Al Berguedà podem trobar deu minerals de ferro diferents agrupats en cinc classes mineralògiques, atenent a la seva composició química:

SULFURS

Calcopirita

(FeCuS_2). És la pirita de coure. És un mineral massís, però fràgil, tot i tenir una duresa de 3,5-4 g/cm^3 . Els seus cristalls són molt ben configurats, més aviat petits, amb menys d'un parell de centímetres. Se sol presentar amb masses arraïmades, arroyonades. El color que el caracteritza va de groc llautó, tirant a verdós, a groc daurat, fins a negre i diferent a les diferents cares; pot ser que estigui recobert per una patina. De fet, sol tenir alteracions verdoses i blaves, en presentar una patina irisada. D'aquí que s'acostumi a dir, *or dels tontos*, perquè llueix com l'or sense ser-ho. Alguns cristalls poden semblar esfèrics, però és més típica l'estructura cuneïforme. La ratlla que ofereix és de color negre verdós i la brillantor metàl·lica. Hi ha una prova eficaç per comprovar i reconèixer la calcopirita: atacar amb àcid nítric. Així s'observa un color verd espectacular. La trobem a La Bòfia i al Moixeró, amb exemplars força vistosos. També n'hi ha a Castellar de N'Hug i a Gréixer. És un mineral cursor, és a dir, un dels més freqüents en els jaciments. És la mena més important del coure (d'on s'extreu el coure).

Marcassita

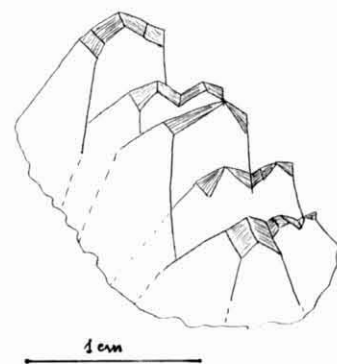
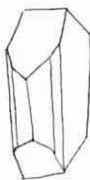
(FeS_2). La pirita blanca o pirita en forma de llança o pirita en cresta de gall. És un sulfur de ferro que



Imatges preses per Lluís Viladrich de cristalls de pirita trobats al coll de Fumanya.

presenta els cristalls en grups implantats i inclusos, formant fileres. Combinant les diferents cares, els cristalls sembla que tinguin aspecte de destal plana, amb l'estriació com una ploma. Sol anar combinat amb masses denses de pirita, formant agregats fibrosos o radials fins. La marcassita sovint es presenta en concrecions de la grandària d'una nou. El seu color és groc bronze, tirant a gris o verdós i forma fàcilment

Mostra de cristalls de marcassita berguedana.



una patina. La densitat és de l'ordre de 4,8-4,9 g/cm^3 . Si es dona un cop a un tros de marcassita, es desprèn olor de sofre i en poden sortir espurnes. Sovint s'observa una crosta marronenca causada per la meteorització.

La marcassita té la mateixa composició que la pirita, però no l'estructura cristal·lina (l'ordenació interior de les seves partícules materials), de manera que les seves propietats físiques són molt diferents. És inestable a la temperatura normal i per sobre dels 400°C es transforma en pirita. Els exemplars de col·leccions poden descompondre's força aviat en limonita i àcid sulfúric, per tant, es destrueixen ells mateixos, malmetent fins i tot les capsetes de classificació i els prestatges on estroben. Al Berguedà en trobem especialment a Fumanya, amb tot un reguitzell de formes molt boniques. També n'hi ha a Saldes i a Fígols, relacionada amb els lignits.

Pirita

(FeS_2). És la pirita de ferro, la pirita de sofre. Se'n coneixen més de 60 formes cristal·lines diferents, tot i que les més freqüents són l'hexàedre regular, el dodecàedre pentagonal (piritoedre) i els cristalls cúbics. Les estries que es presenten paral·leles a les cares del hexàedre són típiques d'aquest mineral. Les macles de compenetració de dos dodecàedres pentagonals formen les anomenades "creus de ferro".

La pirita es presenta sovint en cristalls grans i ben desenvolupats, encara que es coneixen agregats esfèrics, arraïmats i arroyonats, o masses granuloses o radials. El color de la pirita és el de llautó clar, groc daurat amb patina bigarrada. La pirita és una substància fossilitzant, en diferents períodes geològics. S'altera fàcilment a limonita de color marró. S'utilitza no per obtenir ferro, sinó per l'àcid sulfúric, com a pols de polir, pintures vermelles i grogues i, també, els exemplars petits i ben desenvolupats, com a objectes ornamentals. Per no confondre-la amb la marcassita, cal mirar els cristalls d'aquesta (són tabulars i més clars de color) i en el cas de la calcopirita, el color és groc d'or vell i menys dura que la pirita; de totes maneres hi ha microanàlisi del coure o raigs X que permeten distingir perfectament uns minerals dels altres.

Al Berguedà en trobem força exemplars i molt bonics a diferents indrets: a Portet, molí de la Sala, Valcebre, torrent del Guix, cingles de Garreta (alterada en goethita), viaducte de Cercs, font Freda (Espinalbet) i Fumanya, especialment, amb macles en creu i molt espectacular; és aquí, al coll de Fumanya, on també es troba pirita amb conquilles fòssils com a receptacle. Hi ha exemplars de pirita formant part de "burrows" al molí de la Sala de Vilada. I també pirita i cristalls de roca al naixement de la riera de l'aigua Salada. En trobem de molt



Recull de la ferramenta de Vilajoana recopilada pel Lluís.

ben cristal·litzada a Bagà (La Mena), a Borredà i a Castell de l'Areny. També n'hi ha a Grèixer i a Castellar de N'Hug, associada amb mineralitzacions de manganès.

ÒXIDS I HIDRÒXIDS

Goethita

($\text{FeO}(\text{OH})$). És el ferro acicular. Presenta els seus cristalls capil·lars o aciculars i molt estriats en sentit longitudinal. Sol ser compacte, dens, pulverulent. El seu color va de marró negrós a groc clar. La densitat tot i que varia, sol ser de $4,3\text{g}/\text{cm}^3$. És un producte típic de la meteorització. Sol anar associada amb hematites, òxids de manganès, calcita... L'anàlisi amb raigs X demostra l'existència de dos hidròxids cristal·lins de ferro: la goethita, i la lepidocrocita que moltes vegades es reuneixen sota el nom de limonita o d'ocre groc. N'hem trobat a Comabella, el Moixeró, La Nou, Fígols, Fumanya, Malanyeu, el Catllaràs, Saldes i Vallcebre.

Hematites

(Fe_2O_3). És el ferro especular, l'ocre vermell. Es presenta amb hàbits molt diferents segons la temperatura de formació, des de

bipiramidal a formes tabulars d'altres a baixes temperatures (terrosa a Serrateix, compacta a La Mena de Bagà, i micàcia a la Creueta de Castellar de N'Hug). El seu color va de vermell totxo fins a marró grisós. És força dens, entre $5,2$ i $5,3\text{g}/\text{cm}^3$. La ratlla és roja, amb diferents tonalitats. Com a curiositat hem de dir que si es col·loca una estona l'hematites a la flama d'un encenedor Bunsen estorna magnètic, mentre està calent. Al Berguedà el trobem als Porxos, al Bastareny, a Gavarrós, a Comabella, al cim del pla Baguet (Castellar de N'Hug), i també a Serrateix i Sorba.

"Limonita"

Encara que no es pugui considerar un mineral en el sentit més estricte, és una font de ferro. Sol tenir com a component la goethita, és una barreja d'òxids de ferro. El seu color és ocre. La ratlla

sempre és groga. No és soluble en aigua. Deixa els dits tenyits en tocar-la. Pot ser terrosa o amb aspecte massís. N'hem trobat als Porxos i La Bòfia, amb peces molt boniques. N'hi ha associada a mineralitzacions de manganès, a les pirites dels lignits terciaris o a l'alteració de la marcassita.

Magheimita

(Fe_2O_3). L'hem trobat a tossa d'Alp, Bagà i Grèixer. És mat, terrosa, bastant magnètica. S'assembla a l'hematites, però té la ratlla de la pols del mineral, granat i, el color propi és gris-vermell.

CARBONATS

Siderita

(FeCO_3) recollida a la Bòfia, entremig de la baritina, la malaquita i l'atzurita. S'ha format sempre sense contacte amb l'oxigen de l'aire, encara que també pot ser com a fruit de la meteorització dels òxids de manganès. Les formes més comunes solen ser esfèriques, arronyonades radials i agregats espàtics. Mostra efervescència amb l'àcid clorhídric calent. El color que presenta va del blanc grogós, groc verdós i gris fins a negre blavós. La densitat està entre $3,7$ i $3,9\text{g}/\text{cm}^3$. El nom,

etimològicament parlant, vol dir ferro espàtic, fent referència a les propietats externes del mineral.

SULFATS

Melanterita

($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) trobada a Campalans, amb el seu gust astringent característic (de tinta) i aspecte blanquinós, granellut, formant crostes adherents a les superfícies d'altres roques i soluble en aigua.

SILICATS

Glaucanita

($\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{K}(\text{Fe},\text{Mg},\text{Al})_2(\text{OH})_2$) trobada al Berguedà, a la solana d'Avellanet, al terme de Bagà. Forma clapes superficials entre les margues blaves. És translúcid. La seva ratlla és verdosa i poc dur, es ratlla amb l'ungla.

Hem de citar que a la memòria del "Catastro Minero de Catalunya del 1961" hi consten les dues mines de ferro: al terme municipal de Bagà, la DIANA, núm. exp. 1856, amb 44 ha, data d'atorgament 12 de novembre de 1912, titular, Óscar La Normand; i al terme municipal de Brocà, la PEPITA, núm. exp. 2471, amb 20 ha, amb data d'atorgament 11 de març de 1942, i el titular, Domingo Targarona.

Actualment no s'explota cap mineral de ferro al Berguedà.

Nota

Aquest article s'ha fet a partir de tota la informació que en Lluís Viladrich havia buscat i trobat entre la seva col·lecció mineralògica, recopilada durant les excursions fetes pel Berguedà i a partir d'apunts i converses forjades en silenci...

Ell va "gestar" aquest Erol 91. Ara neix sense que ell pugui veure'n el resultat, però amb la seva espurna candent!

He d'agrair el gran ajut rebut pel Josep Ma. Busquets, el Josep Marmi, el Josep Ma. Mata i la Isabel Roca tant en la correcció com en els aclariments, els suggeriments i els dubtes resoltos en l'escrit.

Montserrat Gorchs

Corominas

biòloga