geodía20 Sevilla

La Faja Pirítica Ibérica en la Sierra Norte (Sevilla): patrimonio histórico-minero e implicaciones medioambientales

Joaquín Delgado, Juan Carlos Balanyá, Manuel Díaz Azpiroz, Inmaculada Expósito, Alejandro Jiménez, Francisco Moral, Miguel Rodríguez-Rodríguez

Universidad Pablo de Olavide (Sevilla)

El Castillo de las Guardas-El Madroño
Sábado 9 de mayo 2020
Salida: 8:00 a.m. Av. De Sevilla
(Frente al rectorado de la UPO)

ISSN: 2603-8889 (versión digital)
Colección Geodía.
Editada en Salamanca por Sociedad Geológica de España. Año 2020.

INTRODUCCIÓN

La Faja Pirítica Ibérica es uno de los elementos geológicos más notables de la Península donde se localizan algunos de los yacimientos de sulfuros metálicos más importantes del mundo. La explotación de sus recursos comenzó hace más de 4000 años, lo que la convierte en uno de los distritos mineros más antiguos conocidos. **Geolodía 2020 Sevilla** está dedicado a este rasgo tan sobresaliente que se extiende desde la provincia de Sevilla hasta la región de Aljustrel en Portugal.

¿Qué es el GEOLODÍA?

www.geolodia.es

Geolodía es un conjunto de excursiones gratuitas coordinadas por la SGE, guiadas por geólog@s y abiertas a todo tipo de público. Con el lema "Mira lo que pisas", su principal objetivo es mostrar que la Geología es una ciencia atractiva y útil para nuestra sociedad. Se celebra el mismo fin de semana en todo el país.

Este año celebramos el X aniversario de esta actividad desde que se extendiera, en 2011, por todo el territorio nacional. En estos años, hemos tenido la ocasión de visitar las tres unidades que configuran la geología de la provincia de Sevilla. De norte a sur: el Macizo Ibérico (Geolodías 2011, 2012, 2016 y 2018), formado por rocas paleozoicas y por tanto las más antiguas, deformadas en la orogenia Varisca (300-400 Ma); b) la depresión del Guadalquivir (Geolodías 2013, 2015 y 2017), cuenca de antepaís de edad neógena; c) la Cordillera Bética (Geolodías 2014 y 2019), que corresponde al orógeno Alpino, formado en los últimos 50 Ma, del sur de la Península.

Retomamos la Geología del Macizo Ibérico a través de un itinerario que transcurre por la denominada Zona Surportuguesa, donde se enclava la Faja Pirítica Ibérica (FPI). En esta ocasión, consideraremos aspectos complementarios a los tratados en el Geolodía de 2018 en el que visitamos la mina de las Cruces. Nuestro itinerario se agrupa en torno a dos localidades, en las que valoraremos la geología de este sector como provincia metalogénica: ***parada 1) Mina El Castillo de las Guardas***, donde realizaremos dos visitas en las que conoceremos el origen, tipo y disposición de las masas de mineral, el valor patrimonial de las construcciones mineras, y los productos derivados de la explotación; ***parada 2) La Pasá de el Madroño***, junto al *río Tinto*, donde tendremos ocasión de ver y discutir los impactos naturales y antrópicos de la minería en el paisaje y en las aguas superficiales (mapa de ruta en contraportada).

GEOLOGÍA DE LA FAJA PIRÍTICA IBÉRICA

Singularidad de los depósitos de sulfuros masivos

Se denomina "Faja Pirítica Ibérica" al conjunto de unidades geológicas que afloran en el sector de la Zona Sudportuguesa (contraportada), caracterizadas por la abundancia de sulfuros metálicos, dominando pirita y calcopirita. Las masas de sulfuros metálicos se localizan dentro del Complejo Vulcanosedimentario, constituido por rocas de origen detrítico entre las que se intercalan rocas volcánicas y subvolcánicas. Este conjunto de edad Devónico Superior-Carbonífero inferior (370-330 Ma) es interpretado como el resultado de la sedimentación en cuencas marinas desarrolladas como consecuencia de la extensión a la que estaba sometida la corteza en dicho periodo. Esta extensión provocaba una intensa actividad magmática que daba lugar a un importante vulcanismo en medios marinos, lo que propició la formación extensiva de masas metálicas. El agua marina, al circular por las abundantes fracturas del lecho rocoso, lavaría metales que saldrían al exterior a través de fumarolas (*black smokers*). Allí se combinarían con azufre (procedente tanto del agua marina, como de origen volcánico), probablemente con ayuda de bacterias que viven en estos medios pobres en oxígeno, dando lugar a la precipitación de sulfuros metálicos sobre el lecho marino (Vera et al., 2004). La alimentación de estos depósitos masivos se canalizaba a través de sistemas de venas entramadas bajo las masas metálicas masivas (*stockworks*) (Figura 1).

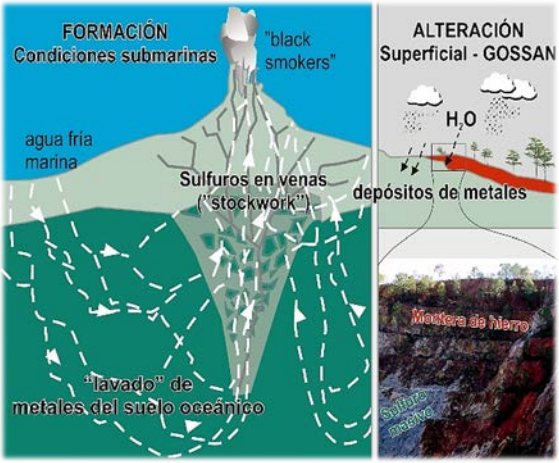


Figura 1.- Esquema de formación de los sulfuros masivos y *stockworks*, así como la formación de *gossan* cuando se alteran al ser expuestos en superficie.

Alteración supergénica
El Gossan

Cuando los depósitos de sulfuros masivos y *stockworks* se emplazan cerca de la superficie quedan expuestos a los agentes de meteorización, especialmente a la acción de agua de lluvia infiltrada y aguas subterráneas, en condiciones de acidez extrema. Esta alteración de los minerales metálicos genera una zona con predominio de minerales fuertemente oxidados (óxidos e hidróxidos de hierro) que se

conoce con el nombre de *gossan* o, de forma más gráfica, monteras de hierro (Figura 1). Presentan colores muy característicos que dependen de su mineralogía, entre los que suele dominar el rojo intenso, por la alta proporción de hierro férrico. Los *gossans* de la FPI están dominados por un oxihidróxido de hierro, la *goethita*, y han sido tradicionalmente explotados en la zona para la obtención de oro y plata (Tornos-Arroyo, 2008).

En la **Parada 1A** podemos observar un *gossan* que presenta un color rojo característico, debido a la abundancia de *hematites* (óxido de hierro, en su variedad terrosa conocida como ocre rojo). También se aprecia un alto contenido de *goethita*, que aparece en aspecto botroidal (bolas amorfas) con iridiscencias, así como *limonita* o *jarosita* (minerales de color ocre). Las primeras explotaciones de *gossan* se hacían para la fabricación de pigmentos a partir de la *limonita* (ocre) y la *hematites* (ocre rojo). El hueco que se observa corresponde a una antigua corta de explotación en la que los romanos explotaban el *gossan* para la extracción de metales preciosos.

HISTORIA DE LA MINERÍA METÁLICA EN LA FPI

La actividad extractiva en la FPI comenzó hace, al menos, 4500 años. Sucesivas civilizaciones, desde las pretartésicas a comienzos del periodo Neolítico hasta la civilización romana, basaron su desarrollo económico en la explotación de plata, cobre y plomo de este distrito minero (Delgado et al., 2012). Hasta el s. XIX no se produce una minería intensiva en la región, y compañías de capital británico y francés comienzan a extraer grandes cantidades de pirita-calcopirita a cielo abierto. A principios del s. XX, la pirita extraída en la FPI suponía casi el 50% de la producción mundial. Esta actividad decayó a final de siglo, debido a las fluctuaciones de los mercados de los metales y la apertura de nuevas minas en Sudamérica, África y Australia. Actualmente, debido a la gran demanda de cobre en los mercados internacionales, existen proyectos mineros en Andalucía occidental y el sur de Portugal, tales como la mina de cobre de Las Cruces en Gerena (Sevilla).

Patrimonio minero en Sevilla: Mina de El Castillo de las Guardas

El Castillo de las Guardas (Sierra Norte de Sevilla), dado su enclave privilegiado junto al río Guadiamar, ha sido habitado por numerosas culturas que explotaron sus riquezas minerales desde el Calcolítico (Pérez-Macías, 1996). Tartesos y fenicios dejaron su impronta, y monedas de la época de Trajano atestiguan la notable presencia romana, debido a su privilegiada posición geográfica entre las grandes rutas de transporte de mineral y de ganado hacia el norte (Ruta de La Plata).

Aunque existen algunos vestigios de la época medieval, la minería de la zona toma auge a mediados del s. XIX, con la apertura del complejo minero "Mina Admirable y su Grupo" (1,5 km^2). En el s. XX, se convierte en la explotación de pirita y calcopirita para producir azufre, hierro, cobre, zinc y plomo más importante de la provincia de Sevilla, y sus minerales eran muy cotizados en Europa por su gran calidad. Todo ello gracias a la construcción en 1900 de la presa del embalse como reserva de agua (Figura 2B). Paralelamente, y concluyendo en 1914, las compañías Sociedad Española de Minas de El Castillo de las Guardas (S.M.C) y The Peña Copper Mines Limited (P.C.M) firman un acuerdo para construir el ramal de ferrocarril de 21 km (y resto de infraestructuras) que uniría la explotación con Nerva y Minas de Río Tinto. Este enlazaba con el ferrocarril privado de la S.M.C. que funcionaba desde 1907 (15 km) y unía con la línea principal de Minas de Cala hasta San Juan de Aznalfarache en Sevilla (González-Gª de Meneses, 1896). En 1947, tras dos paralizaciones condicionadas por las guerras del siglo, es adquirida por la sociedad onubense Minerales Reunidos S.A., que cesa su actividad en 1963, con una explotación total de ca. 2500000 Tm.

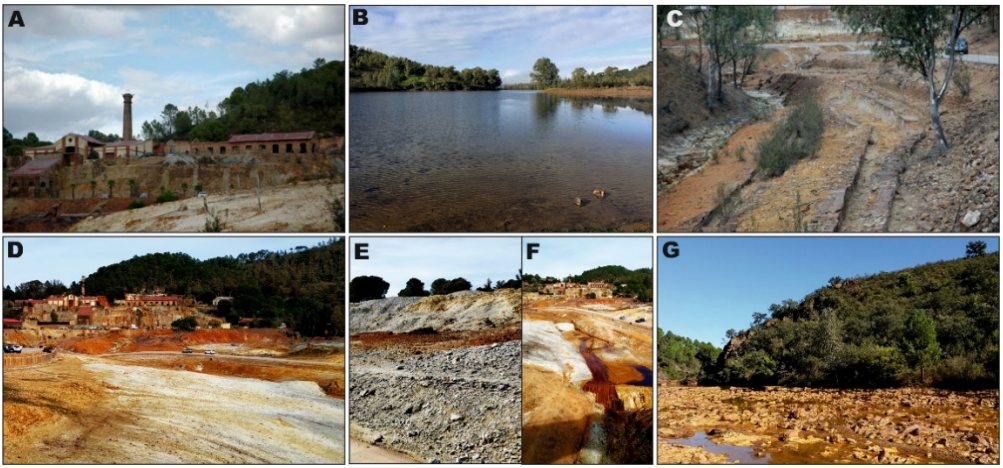


Figura 2.- Elementos característicos de la mina de El Castillo de las Guardas. A: planta de procesado; B: embalse de la mina; C: canalones-conducciones de agua; D: antigua plaza de tostación mineral; E-G: escombrera, generación DAM, río Crispinejo o Agrio.

Las instalaciones objeto de la **Parada 1B**, en las que hoy en día se sitúa el parque de animales "La Reserva del Castillo de las Guardas", comprenden pozos (el maestro de 125 m), galerías, puentes para ferrocarril, canalones y una antigua corta de 300 m de largo y 100 m de ancho (Figura 2). Así mismo, se pueden identificar una planta para la explotación de minerales de baja ley en azufre, un taller de trituración de piritas y la antigua plaza de tostación.

CONFIGURACIÓN DEL PAISAJE E IMPLICACIONES AMBIENTALES DE LA MINERÍA

Los impactos ambientales en la Faja Pirítica son resultado de una explotación minera de más de 4000 años. A la deforestación en época romana de las primeras explotaciones y la obtención de carbón vegetal para la minería le siguió un desarrollo de la minería a cielo abierto (segunda revolución industrial, siglos XIX y XX), que generó grandes cortas y toneladas de escoria y residuos que han modificado significativamente el *paisaje* original de la FPI que debía ser alomado y tapizado por el bosque mediterráneo. Las calcinaciones (tostación de la pirita) al aire libre para concentrar el cobre de los sulfuros generaron grandes vertidos de cenizas a la *atmósfera*. Además, los gases sulfurosos y arsenicales desencadenaron lluvias ácidas a escala regional. Los *suelos* originales (delgados y pobres en materia orgánica), tradicionalmente usados para actividad forestal, sufren una degradación (físico-química) por los movimientos de tierra y la generación de aguas ácidas (Fernández-Caliani, 2008). Dicho *drenaje ácido de mina* (DAM) se produce de forma natural cuando la roca madre rica en sulfuros se meteoriza en contacto con la atmósfera. Sin embargo, la actividad humana produce una sobreexposición que acelera el proceso. Las fuentes de aguas ácidas son variadas, como las galerías y cortas, pero principalmente se origina por la lixiviación de residuos mineros abandonados. El resultado final es que muchos de los cauces fluviales de cuencas mineras tienen pH de 2 a 5 y alto contenido en metales como sucede, por ejemplo, en el río Tinto.

Drenaje ácido de mina en el río Tinto

Para conocer estos singulares paisajes, en la **Parada 2** visitaremos el río Tinto a su paso por El Madroño (Figura 3). La cuenca del río Tinto (1646 km^2) se extiende por las provincias de Huelva y un pequeño sector de Sevilla perteneciente a los municipios de El Madroño y El Castillo de las Guardas. Aguas arriba de la Pasá del Madroño se encuentra la cuenca alta del río Tinto (217 km^2), que incluye la mayor parte de la zona minera de Riotinto-Nerva. En este sector el río Tinto y su afluente Rivera de Jarrama marcan el límite provincial.

Figura 3.- El río Tinto a su paso por la "Pasá de El Madroño".

La oxidación abiótica de la pirita (F1) produce acidez y la liberación de sulfatos, hierro y otros elementos accesorios asociados a los sulfuros (As, Cd, Pb, etc.). En la naturaleza, estas reacciones se aceleran considerablemente gracias a la acción catalizadora de bacterias acidófilas como *Acidithiobacillus ferrooxidans* que favorecen la oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} convirtiendo a la oxidación en un proceso sin fin. Las distintas labores mineras (escombreras, cambios en el nivel freático) favorecen enormemente el contacto entre el oxígeno y los sulfuros y, en consecuencia, la generación de aguas ácidas con elevadas concentraciones de metales disueltos.

F1:

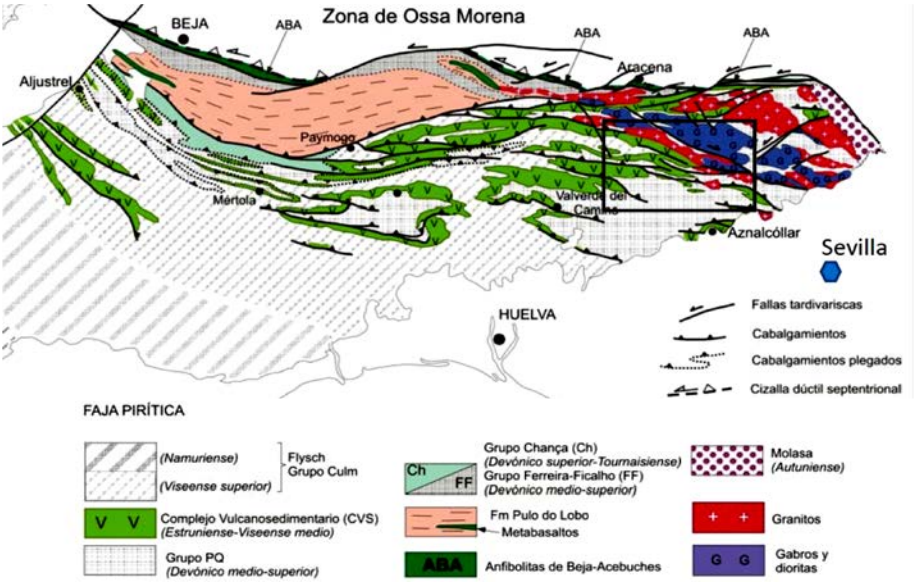
$$\mathbf{FeS_2 + 7/2\ O_2 + H_2O \rightarrow Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 2H^+}$$
$$\mathbf{FeS_2 + 14Fe^{3+} + 8H_2O \rightarrow 15Fe^{2+} + 2SO_4^{2-} + 16H^+}$$

La precipitación del Fe^{3+} en forma de oxihidróxidos de hierro "tiñe" los cauces de rojo-ocre y produce un tamponamiento del pH a valores próximos al rango 2,5-3. Cuando en el lixiviado ácido existe muy poco hierro en disolución, el pH asciende a valores entre 4 y 5 y el papel de tamponamiento pasa a ser ejercido por la precipitación de aluminio. Los precipitados de aluminio forman partículas coloidales blanquecinas que dan un aspecto lechoso al agua (pueden apreciarse en la foto de portada).

En los primeros 10 km de su recorrido, el río Tinto recibe los lixiviados ácidos del distrito minero de Riotinto y Peña de Hierro. Los análisis realizados por Olías et al. (2010) indican que en la Pasá del Madroño, las aguas del río Tinto tienen un pH próximo a 2,3 y una conductividad eléctrica de unos 7 mS/cm. Los contenidos en algunos iones y elementos mayoritarios son: 7000 mg/L de sulfato, 1500 mg/L de Fe, 350 mg/L de Al, 100 mg/L de Zn, 100 mg/L de Cu y 30 mg/L de Mn.

Bibliografía:

- Delgado, J., Boski, T., Nieto, J., Pereira, L., Moura, D., Gomes, A., Sousa, C. y García-Tenorio, R. (2011). *Quaternary Science Reviews 33*, 121-141.
- Fernández Caliani, J.C. (2008). *Macla 10*, 24-28.
- Olías, M., Nieto, J.M., Miguel, A. y Ruiz, C. (2010). *La contaminación minera de los ríos Tinto y Odiel*. Universidad de Huelva, 166 p.
- Pérez-Macías, J.A. (1986). En: *I Jornadas de Patrimonio de la Sierra de Huelva*. Huelva.
- González-Gª de Meneses, A. (1896). *Informe acerca de los yacimientos sulfuro-ferro-cobrizos que constituyen la mina Castillo de las Guardas en la Provincia de Sevilla*. Imp. de RESUCHE, Conde de Ibarra 4, Sevilla, 1898. En: Biblioteca Nacional de España.
- Tornos Arroyo, F. (2008). *Macla 10*, 13-23.
- Vera, J.A. (2004). *Geología de España*. Instituto Geológico y Minero, Madrid, España, 884 p.



COORDINA:

ORGANIZA:

Con la colaboración de:

Colaboran: