

Cuando era niño, tendría, no se, 8 o 9 años, ya tenía muchísima curiosidad por los minerales y las sustancias químicas. Una vez, observando detenidamente unas vistosas manchas y crecimientos de sales en un muro, le pregunté a mi padre qué eran y por qué se formaban. Mi padre me explicó que eran “salitres” formados por la humedad que iba subiendo por el muro.



Tiempo después leí que el [salitre](#) eran nitratos que procedían mayoritariamente de Chile. Siempre me fascinó mucho eso, sobre todo porque me evocaba un enorme anuncio en la entrada de Guadalajara (la de España) y que siempre veía de niño, cuando viví en esa ciudad, y que me encantaba. Me sonaba bravo, eso de nitrato de Chile, y la silueta de un tipo duro en su caballo. Creo que el anuncio, hecho con azulejos, muy vistoso, sigue en su sitio. O al menos debería estar, como recuerdo de otra época, en la que Guadalajara era una provincia que vivía del cereal y el ganado.

Y como leí que los nitratos eran oxidantes y se usaban para fabricar pólvora, ni corto ni perezoso recogí el “salitre” de los muros y lo mezclé con carbón en polvo, bien pulverizado, esperando que aquello ardiera. Pero nada, ni amago siquiera. Pronto supe que esos “salitres” de los muros no eran nitratos, sino sulfatos. Así aprendí a valorar la importancia de un sistema de formulación y nomenclatura química universal, coherente, sin ambigüedades y que sirva para que todos nos entendamos, desechando los nombres comunes o populares, que cambian de significado según el país o el idioma en que se usen. En efecto, *salitre* se refiere tanto al nombre con que en América del Sur llaman a los nitratos que se explotaban en enormes cantidades en los salares del norte de Chile o Bolivia, y aquí siempre se ha usado para referirse a las eflorescencias salinas que forma la humedad, aunque sean cosas químicamente muy distintas.

Ahora el *salitre* ha vuelto a mi vida de una manera bastante menos agradable: en forma de *ataque por sulfatos*: una enfermedad de las casas y edificios propiciada por la humedad. Ésta ha ido ascendiendo desde el suelo y atacando las paredes de mi casa, hasta que algunas de ellas han quedado parcialmente destruídas. Un terrible e imparable proceso degradativo, cuyo freno y reparación implica unos costes totalmente inasumibles para mí. Así, mientras veo impotente cómo mi casa se va volviendo inhabitable, al menos puedo utilizarlo para aprender algo: ¿qué es ese salitre que destruye las paredes? ¿cómo funciona? ¿por qué se produce?. Así que me puse a observar el

fenómeno y a tomar muestras de algunas sales recién formadas y analizarlas.

El ataque de los sulfatos

Así se denomina, “ataque por sulfatos”, al proceso de destrucción de cemento, revestimientos de yeso y otros materiales debido a meteorización por humedad y sales. Es un proceso muy grave que pone en peligro nuestras casas y nuestro patrimonio cultural y es uno de los primeros pasos en el proceso de ruina de un edificio.

El ataque por sulfatos puede enfocarse como problema fundamentalmente mineralógico: formación de minerales secundarios hidratados que cristalizan a expensas de minerales primarios que aportan elementos y de fluidos circulantes que provocan cambios químicos.

Uno de sus principales causantes son los **sulfatos de magnesio**. Imaginad que agua subterránea, con cierto contenido en sulfatos, de alguna manera ha roto la barrera que, en el momento de la construcción de la casa, impide que el agua ascienda por los cimientos. Entonces, comienza a subir por capilaridad desde los cimientos hacia los muros de carga de la casa. En su recorrido va disolviendo mas elementos procedentes de piedra del basamento, hormigón, etc. Pero la forma mas soluble es el sulfato de magnesio, que va concentrándose, ascendiendo y reaccionando con los materiales que va encontrando: cemento, yeso, ladrillos... Finalmente, el agua que humedece la pared es una solución salina que, al bajar la humedad, deja importantes depósitos evaporíticos. De alguna manera, las paredes de la casa reproducen un proceso que se da muchas veces en la Naturaleza, en una especie de modelo experimental.

El resultado final lo tenéis en esta imagen de una de las paredes de mi casa:



En la parte superior, en el frente de ataque en el que todavía queda pintura y restos del

revestimiento, se forman abundantes sales: las mas solubles, que ascienden a la mayor altura, comienzan a cristalizar al disminuir la humedad. Estas sales mas solubles son sulfatos de magnesio y lo primero que cristaliza es un mineral llamado **EPSOMITA** (en la foto de encabezamiento de éste post). La epsomita es el sulfato de magnesio heptahidratado y es lo que forma los crecimientos de sales mas llamativos, los clásicos “salitres”, en forma de masas como de pelusilla, masas de cristales aciculares y crecimientos algodonosos. Por debajo del frente de sulfatos de magnesio, tenemos una mezcla compleja de minerales. Mas abajo, la deshidratación de la epsomita (que veremos después) y otros procesos degradativos han dejado la pared desnuda, en primer lugar, y después termina disgregando los ladrillos. Con el tiempo, el muro se agrietará, permitiendo sucesivos ataques mas severos, en un proceso de degradación acelerado exponencialmente. Son los primeros pasos del *arruinamiento* del edificio.

Yo, en mis destruidas paredes, he identificado, además de la epsomita:

- Bassanita (sulfato de calcio hemihidratado)
- Yeso (sulfato de calcio dihidratado), neoforado a partir del yeso de la pared.
- Pentahidrita (sulfato de magnesio pentahidratado)
- Kieserita (sulfato de magnesio monohidratado)
- Starkeyita (sulfato de magnesio tetrahidratado)
- Görgeyita (sulfato de calcio y sodio monohidratado)
- Ettringita (hidroxisulfato de calcio y aluminio)
- Thaumasa (un carbonato-sulfato-silicato de calcio).

Y seguramente habrá mas. Estos dos últimos tienen especial importancia: la **Ettringita** y la **Thaumasa**. El primero de ellos se forma por reacción entre el sulfato que contiene el agua que se infiltra y el aluminato de calcio que contiene el cemento y el hormigón:

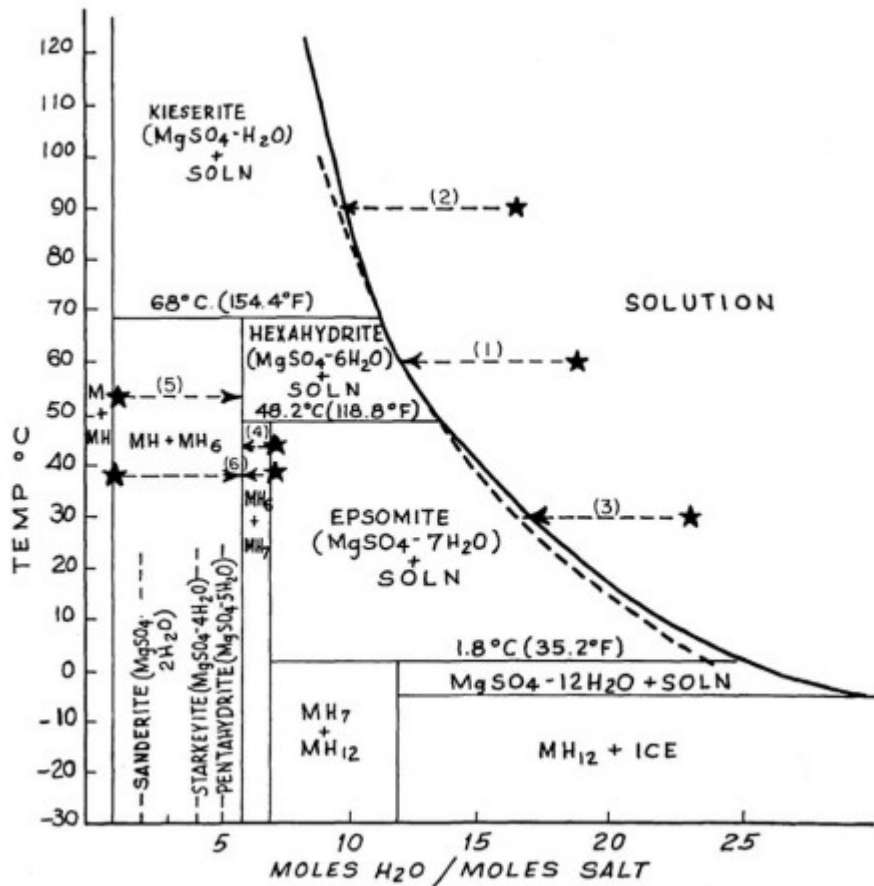


La Ettringita cristaliza y si os fijais, tiene una gran cantidad de agua de hidratación (26 moles de agua por mol de ettringita). El volumen molar de la ettringita es muy alto, provocando la expansión del cemento. Esta expansión rompe el cemento, produciendo grietas y fracturándolo, de modo que se desprende en fragmentos. Una manera de reconocer éste ataque es precisamente la fracturación, descamación y la formación de costras y acículas cristalinas blancas.

Otro posible proceso es la reacción entre agua infiltrada rica en sulfatos y carbonatos a un pH elevado y el silicato de calcio hidratado contenido en el cemento. La reacción produce Thaumasa, $\text{Ca}_3(\text{SO}_4)[\text{Si}(\text{OH})_6](\text{CO}_3) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. El silicato de calcio hidratado del cemento, que se forma al fraguar éste, es uno de los principales componentes responsables de su dureza. Al transformarse en Thaumasa, el cemento se convierte en un material flojo y esponjoso. Una manera de reconocer este ataque es la sensación blanda y que el cemento se deshace al tocarlo con los dedos.

Así, el cemento fracturado y meteorizado permite el paso a mas agua, que va arrastrando sulfato que destruye todo a su paso: primero el yeso de los revestimientos, que se disuelve parcialmente

formando **Bassanita** al recrystalizar, y después yeso neoformado, con lo que la estructura original se deshace. Después el cemento, por formación de ettringita o thaumasita, y finalmente los ladrillos. La cristalización de **Epsomita** es otro proceso muy destructivo: al formarse, la Epsomita expande el material, provocando su fractura, abombamiento o desprendimiento de la pintura. La epsomita no es un mineral estable en condiciones estandar. Veamos su diagrama de fases:



Tomad una temperatura habitual, pongamos 20 grados. Al ir bajando la proporción de agua, lo primero que se forma es Epsomita. Según se va secando, la epsomita se transforma en otras fases: una mezcla de epsomita con hexahidrita, después pentahidrita y starkeyita. Al secarse, la nueva fase tiene menor volumen molar, por lo que se contrae y se deshace.

Así que imaginad el proceso: primero cristaliza la epsomita, que expande y agrieta la pared.

Después, la epsomita se deshidrata y transforma en pentahidrita y starkeyita, con lo que se deshace y el volumen disminuye, cayendo todo al suelo, como en la foto de mi pared.

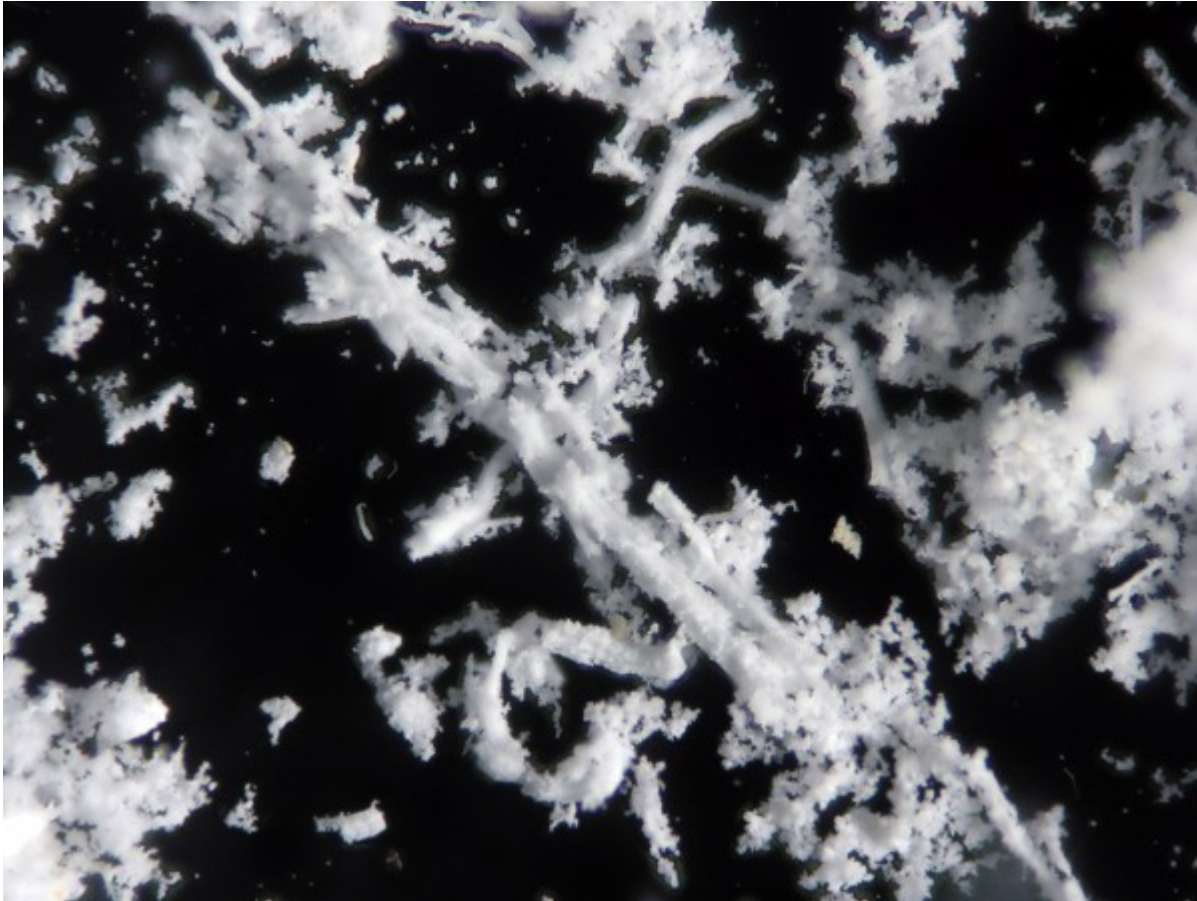
Una ventaja de seguir todo el proceso, es que podemos ver la Epsomita *de verdad*:



Esto es una bella muestra de Epsomita recién formada sobre cemento en la pared de arriba. La Epsomita no es un mineral estable en condiciones estándar, perdiendo el brillo y la transparencia rápidamente. De hecho, en colecciones de minerales, lo denominado “Epsomita”, realmente son mezclas de sulfatos mas o menos hidratados. En la esquina inferior derecha se puede ver un cristal acicular muy fino de Thaumasia, sobre el que han crecido unos cristalitos de Epsomita. Un poco mas arriba, de un color pardo, un pequeño cristal de Görgeyita. Pero lo mejor de todo es que podemos pillar *in fraganti* a la epsomita en plena transformación:



Esto son cristales de Epsomita pseudomorfizándose (es decir, cambia de fase, pero mantiene la forma) a Pentahidrita. Fijaos cómo el cambio de fase implica cambio de volumen: parece que los cristales, originalmente transparentes como el hielo, se encojen y se deshacen, además de volverse blancos y pulverulentos. Finalmente, el material termina convirtiéndose en un polvo blanco, mezcla de Kieserita, y Starkeyita, dependiendo de la temperatura de deshidratación. Este último podeis verlo en esta foto:



¿merece la pena ver cómo se destruyen las paredes para poder ver éstas transformaciones químicas?. Bueno, no realmente, pero ya que no puedo hacer nada, por lo menos que sirva para aprender cosas. Lo bueno es que seguiré observando las transformaciones de fase que se vayan dando.

A modo de recapitulación:

- Las formaciones salinas asociadas a la humedad están compuestas principalmente de sulfatos de magnesio, aunque la composición mineralógica depende de las características geológicas del basamento y de los materiales constructivos utilizados.
- El proceso de degradación de cemento y otros materiales provocado por humedad está propiciado fundamentalmente por sulfatos, que pueden proceder del agua infiltrada además de otras fuentes: actividad de microorganismos, pirita contenida en materiales usados en la cimentación, etc. El alto contenido en magnesio favorece el ataque, al ser los sulfatos de magnesio muy solubles.
- Que si tienes un problema de humedad en casa, o tienes mucha pasta o cambiate de casa, ya que la reparación de este tipo de problema implica bastantes miles de euros. El proceso que se da, llamado meteorización, y que conlleva la formación de minerales secundarios, es difícil de parar. Y si no puedes pararlo, por lo menos usalo para aprender: tienes un modelo en pequeño de los procesos de

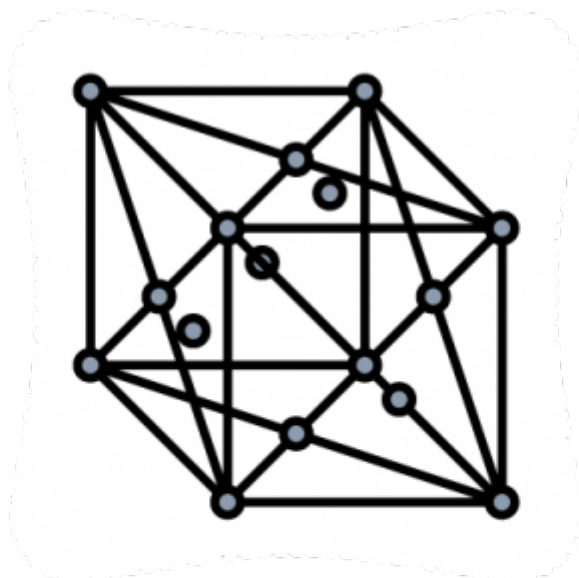
formación de evaporitas en la Naturaleza. Por ejemplo, en Marte se han descubierto fases hidratadas de sulfato de magnesio, que se han formado por mecanismos similares. La gran enseñanza que debería mostrarnos la Epsomita y el ataque por sulfatos, es la impermanencia y que, hagamos lo que hagamos, estamos sometidos a la dinámica de nuestro planeta, que lejos de ser algo estático, se mantiene constantemente en movimiento, transformando sus minerales, con una química sumamente activa. Nuestras estructuras, como nosotros mismos, no son más que un espejismo. Un grito ahogado por el Universo de un ser débil que quería permanecer y lo tiene difícil hasta para legar sus propios objetos a sus descendientes.

ACTUALIZACIÓN:

La imagen que ilustra ésta entrada ha sido ganadora del [European Association of Geochemistry Photo Contest](#).

The image is a screenshot of the European Association of Geochemistry (EAG) website. At the top, the header reads "European Association of Geochemistry" with a logo on the right. Below the header is a navigation menu: Home | About | Membership | Awards | Education | Publications | EAG Blog. The main content area is titled "Photo Contest" and features a section for "Winning photos of the EAG Photo Contest" with the theme "The changing world: geochemistry in action". A large photograph shows translucent, fibrous crystals. Below the photo is the caption: "Destructive beauty: Epsomite crystals formed during the alteration of a concrete wall by sulfate attack induced by the upward groundwater flow. Photo by César Menor-Salván." Below this, another theme "Geochemistry and life" is partially visible. On the right side of the page, there is a search bar, buttons for "JOIN / RENEW" and "MEMBER LOGIN", a "Contact us" link, and "Job opportunities". Further down, there is a notice for the "75th Goldschmidt (2015)" conference in Prague, CZ, from August 16-21, 2015. Below that are links to subscribe to the newsletter and advertise, along with social media icons for Facebook, Twitter, and YouTube. At the bottom right, there are banners for "EAG BLOG", "EAG's Cookbook To the limits", and "EAG Publications" including "Geochemical Perspectives Letters".

Esta entrada participa en la [XXXII Edición del Carnaval de Química](#), cuyo blog anfitrión es [DIMETILSULFURO](#).



CARNAVAL DE QUÍMICA
XXXII EDICION - FEBRERO DE 2014

GERMANIO
(Z=32)