

Recibido: 06.09.2022 • Aceptado: 29.02.2023

Palabras clave: Intemperismo químico, meteorización química, descomposición, oxidación, carbonatación.

# Meteorización de las rocas

YAM ZUL ERNESTO OCAMPO DÍAZ  
*yamzul.ocampo@uaslp.mx*  
MARGARITA MARTÍNEZ PACO  
*mtz\_mago@hotmail.com*  
FACULTAD DE INGENIERÍA, UASLP

En algún momento de nuestra infancia, la mayoría de nosotros tuvimos la curiosidad de saber por qué se descomponen las cosas (por ejemplo, frutas y verduras), sorprendiéndonos de que algunos materiales, como las rocas o metales no se deterioran. Al preguntar a nuestros padres o algún adulto ellos respondían que las frutas y verduras (productos orgánicos) se pudren por los cambios en la temperatura o por la actividad microbiana, que cuando estas se combinan, la descomposición es más rápida. Como posible solución a la inquietud del porqué no se descomponen las rocas o metales, la respuesta era: ¡no!, a las rocas no les pasa nada y muy posiblemente duren toda la eternidad. Ante esta respuesta, crecimos creyendo que las rocas son indestructibles y que se conservan por mucho tiempo. Sin embargo, se ha documentado que cuando las rocas son atacadas por diversos agentes, ¡sí se destruyen! En este trabajo describiremos uno de los procesos más comunes que descomponen a las rocas y a otros materiales, además de cómo éstos interactúan con el entorno en que vivimos.

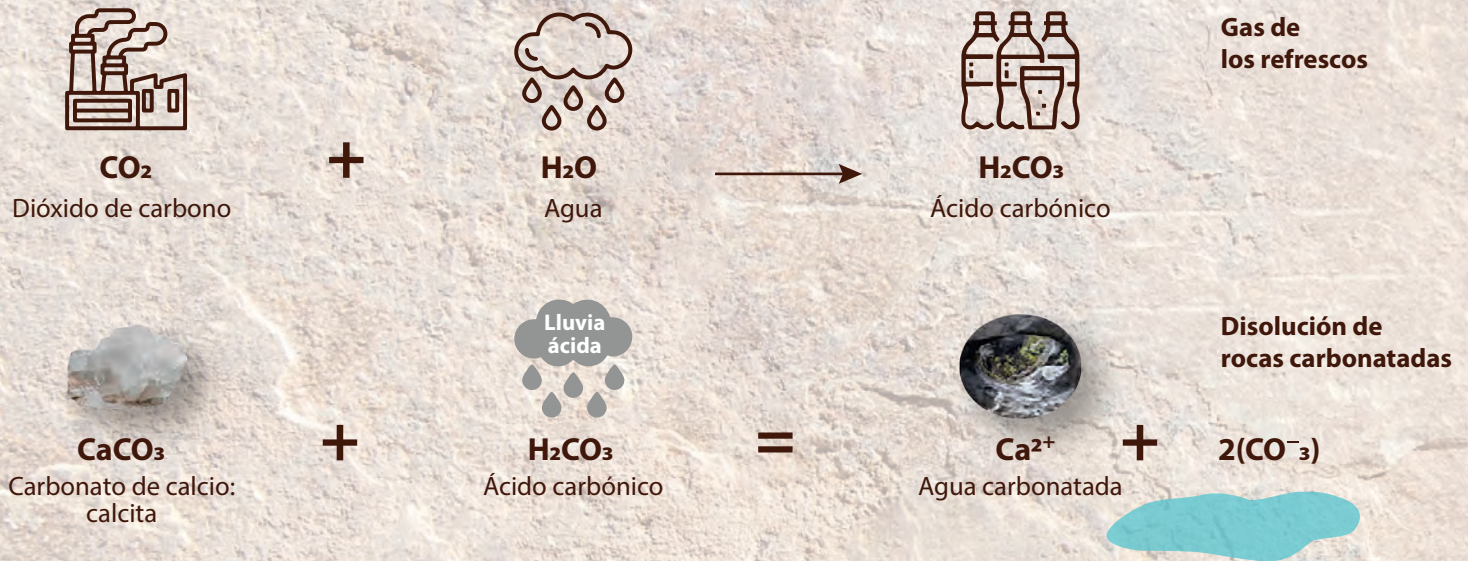
## La meteorización

La geosfera terrestre es un sistema altamente dinámico que busca el equilibrio de manera constante, mediante infinidad de procesos físicos, químicos y biológicos que tienden a fragmentar o descomponer a los materiales que se presentan en la superficie terrestre. La meteorización o descomposición, ya sea física o química de los materiales que forman parte de este sistema tan complejo, es uno de los procesos más comunes que nuestro planeta utiliza para mantener dicho equilibrio. La meteorización en las rocas y minerales ocurre como resultado de los cambios en la temperatura y presión (muy altas) a los que se formaron, comparado con la temperatura y presión que experimentan en la superficie terrestre (muy bajas) (Figura 1). En este sentido, y de acuerdo con Goldich (1938), si los minerales que cristalizan a temperaturas más altas (por ejemplo, olivinos y piroxenos) (figura 1) son expuestos a las condiciones ambientales en las que nosotros vivimos, su meteorización será más rápida que aquellos que se

cristalizan a temperaturas más bajas, como el feldespato alcalino y cuarzo (figura 1). Considerando esta propuesta, mencionaremos que la meteorización física solamente fragmenta a las masas rocosas por procesos mecánicos, como la insolación y el crecimiento de cristales, comúnmente relacionados con las condiciones climáticas, es decir, sin causar cambios en la composición química de las rocas ni nuevos productos. Caso contrario, la meteorización química o descomposición es un proceso que se desarrolla cuando las rocas y minerales entran en contacto con el agua, aire u otras sustancias, así que guarda una estrecha relación con el clima, ya que éste regula las condiciones de humedad y temperatura. La importancia de la meteorización química radica en las múltiples reacciones químicas que pueden desarrollarse cuando los minerales y rocas entran en contacto con el agua, aire u otras sustancias, que en algunos pueden ser dañinas para los seres vivos, o bien, favorecer el rápido deterioro de los monumentos culturales o de nuestras viviendas.



Figura 1.  
Serie de estabilidad mineral de acuerdo con Goldich (1938)



**Ejemplos de disolución de las rocas ricas en carbonato de calcio.**  
 Piramide de Gizeh, Egipto.  
 Cortesía de Rubén López Doncel.

Figura 2.  
 Ejemplos, reacciones químicas y productos que ocurren durante la carbonatación

En esta primera parte describiremos tres de los procesos más comunes de meteorización química, mencionaremos algunos ejemplos de cómo estos procesos pueden ser favorables o perjudiciales a nuestro entorno, algunos de ellos son el uso de cerámicas, generación de medicamentos, desechos mineros o en los patrimonios culturales. Así mismo, describiremos, cómo estas modificaciones químicas en las rocas son utilizadas por los geólogos para determinar cómo fueron las condiciones climáticas hace millones de años.

**Procesos que descomponen a las rocas**  
**Carbonatación**

Es un proceso que se desarrolla cuando el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), presente en el agua de lluvia o en la humedad, se combina con la humedad del aire y forma ácido carbónico o lluvia ácida ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Cuando esta lluvia ácida entra en contacto con rocas como la calcita, rocas compuestas principalmente por carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), el carbonato de calcio se convertirá en bicarbonato de calcio soluble en agua, de esta manera

se desarrollan pequeñas grietas por la disolución del carbonato de calcio, los cuales serán cada vez más grandes hasta convertirse en diaclasas o cavernas.

En la Huasteca potosina son muy comunes las rocas de color gris, en su superficie se observan grietas desarrolladas por la acción del ácido carbónico (figura 2). Como resultado de la exposición prolongada de las rocas carbonatadas a la lluvia ácida, se favorece la generación de cavernas o grutas, en las cuales corren los ríos de agua subterránea de composición carbonatada, o bien, aquellas que podemos visitar, como las grutas de La Catedral que se encuentran en las inmediaciones de la ciudad de Rioverde, SLP. Un buen ejemplo de este proceso de descomposición son los grandes orificios que presentan los bloques de caliza con los que fue construida la pirámide de Gizeh, en Egipto. Como se observa en la figura 2, los bloques presentan de pequeños a grandes orificios, como las oquedades mostradas en las fotografías, las cuales en ocasiones disuelven grandes cantidades de los bloques.

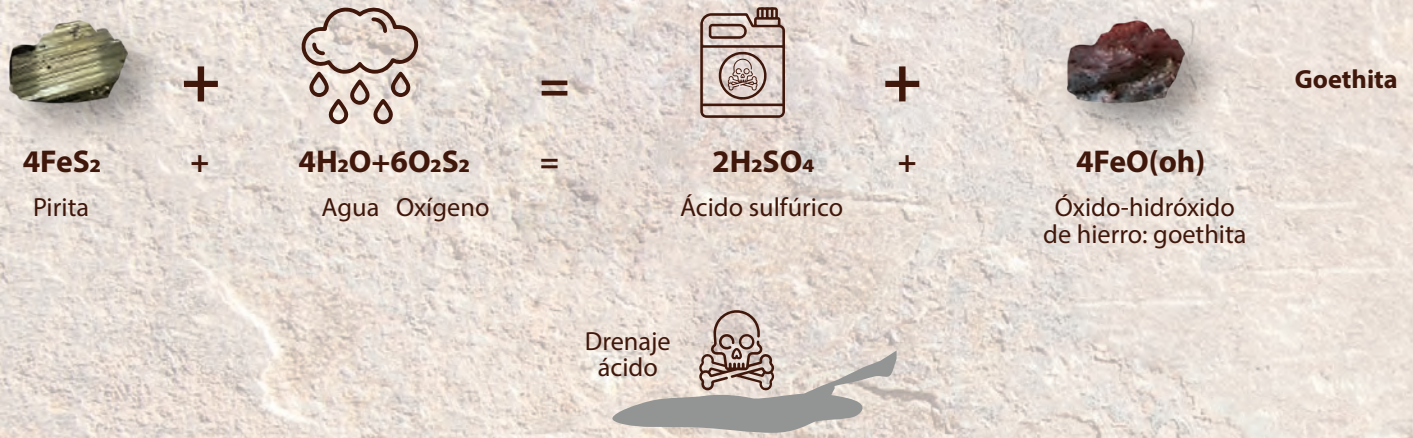


Figura 3. Ejemplos, reacciones químicas y productos que ocurren durante la oxidación

### Oxidación

Es un proceso que ocurre cuando las rocas o minerales entran en contacto con el oxígeno del agua o del aire. El proceso más común de la oxidación ocurre cuando el hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) presente en los minerales o rocas entra en contacto con el oxígeno (O) disuelto en el agua. Estos favorecen la pérdida de uno o más electrones del componente principal, desarrollando una superficie de color rojiza menos rígida que se desmorona con mayor facilidad. Esto propicia la disgregación —proceso que favorece que los componentes de la roca pierdan cohesión y se desmoronen— de los minerales y el desarrollo de diversas reacciones químicas, de las cuales, algunas de ellas pueden generar compuestos nocivos para la salud. Por ejemplo, la pirita ( $\text{FeS}$ , sulfuro de hierro) es un mineral muy común en muchos de los yacimientos minerales y comúnmente es desechada por su escaso valor económico. Cuando este mineral entra en contacto con cuatro moléculas de agua ( $4\text{H}_2\text{O}$ ) y seis moléculas de oxígeno ( $6\text{O}_2$ ), dará como resultado ácido sulfúrico ( $2\text{H}_2\text{SO}_4$ ) y cuatro moléculas de óxido-hidróxido de hierro ( $4\text{FeO}(\text{OH})$ ) (figura 3), que serán incorporados al medio ambiente cuando no se tienen las medidas correctas de remediación ambiental. Hay que recordar que el ácido sulfúrico es un compuesto irritante, altamente corrosivo, el cual puede causar dermatitis o cáncer cuando la exposición es continua. Aquí es preciso mencionar que, por ejemplo, a pesar de que la historia minera del estado de San Luis

Potosí data de la época de la colonia, la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos se promulgó en el año 2003. Previo a la promulgación de esta ley, la mayoría de los desperdicios mineros eran desechados directamente a los arroyos, grandes cantidades de minerales se acumulaban listos para reaccionar al agua superficial, o bien, ser erosionados, transportados y depositados aguas abajo; todos estos minerales se acumulaban dentro de los sedimentos de estos arroyos. Entre estos minerales se encuentra la pirita, que en cada temporada de lluvias reacciona nuevamente y genera ácido sulfúrico, imagine que esto ha estado pasando durante décadas, y muy posiblemente sigue pasando. Después del año 2003, la mayoría de las empresas ha retirado estas pilas de desechos; sin embargo, no removieron aquellos que quedaron dentro de los sedimentos de los arroyos y ríos, lo cual sigue haciendo que el peligro continúe latente. Este ejemplo es uno de los más simples, pero también dañino, ya que entre los minerales que se vierten a los arroyos también pueden agregar minerales como la arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), que al descomponerse libera arsénico (As) al ambiente, elemento altamente cancerígeno y dañino para la salud. Es necesario mencionar que estos procesos han ocurrido en la historia de la Tierra de manera natural y equilibrada, pero esto se ha incrementado por las excesivas necesidades de materia prima que el hombre moderno requiere para mantener su estatus como el único ser pensante del planeta.

# Se descomponen las rocas

Crecimos creyendo que las rocas eran el único material considerado indestructible, que no sufrían estragos a través del tiempo. Sin embargo, se ha comprobado que, gracias a diversos agentes, las rocas sí pueden llegar a descomponerse.

La geosfera es un sistema dinámico que busca el equilibrio constantemente a través de diversos procesos físicos, químicos y biológicos, los cuales son los responsables de descomponer los materiales presentes en la superficie terrestre. Esto es posible a través de tres procesos comunes de meteorización química:



## Carbonatación

En este proceso el dióxido de carbono, presente en el agua de lluvia, se combina con la humedad del aire y, en consecuencia, forma lluvia ácida. Cuando ésta entra en contacto con las rocas comienzan un proceso químico, el cual provoca una disolución en la piedra que favorece la generación de cavernas.



## Oxidación

Es un proceso que sucede gracias a que los minerales entran en contacto con el oxígeno del agua, lo que favorece la pérdida de uno o más electrones del componente principal, provocando que los componentes de la roca pierdan cohesión y se desmoronen.



## Hidrólisis

Este proceso ocurre cuando las rocas y sus minerales entran en contacto con agua de lluvia. La molécula de agua se divide en un ion de hidrógeno y uno de hidroxilo, esto favorece el rompimiento de uno o más enlaces químicos y descomponen el mineral.



Figura 4. Ejemplos, reacciones químicas y productos que ocurren durante la hidrólisis

### Descomposición por hidrólisis

Ocurre cuando las rocas y sus minerales entran en contacto con agua de lluvia. En este caso, la molécula del agua se divide en un ion de hidrógeno (H+) y un ion de hidroxilo (OH-). La disociación de las moléculas de agua favorece el rompimiento de uno o más enlaces químicos de la especie mineral (por ejemplo, plagioclasa y feldespato alcalino), lo cual favorece el desarrollo de nuevas especies minerales. Pongamos como ejemplo el caso de dos minerales que pertenecen al mismo grupo de los feldspatos, pero que cristalizan a temperaturas diferentes. En el primer caso, la albita ( $2\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ), que es una plagioclasa rica en sodio, cristaliza a temperaturas más elevadas que el feldespato potásico (ortoclasa). Cuando la albita entra en contacto con dos moléculas de hidrógeno ( $2\text{H}^+$ ) y con nueve moléculas de agua  $9\text{H}_2\text{O}$ , estas se rompen y adhieren a la pared del mineral, descomponiéndolo y generando un nuevo mineral que se llama caolinita ( $\text{H}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ ), cuatro moléculas de ácido silíceo y dos moléculas de sodio ( $2\text{Na}^+$ ), figura 4. Del mismo modo, el feldespato alcalino de variedad

ortoclasa ( $2\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ) es una variedad de los feldspatos alcalinos que cristaliza a temperaturas más bajas que la albita, cuando entra en contacto con dos moléculas de hidrógeno ( $2\text{H}^+$ ) en solución acuosa y con nueve moléculas de agua ( $9\text{H}_2\text{O}$ ), se descompone y forma un nuevo mineral llamado caolinita ( $\text{H}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ ); asimismo, libera cuatro moléculas de ácido silíceo ( $4\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) y dos moléculas de agua.

Uno de los principales beneficios que produce la descomposición por hidrólisis, es la generación de iones de  $\text{Si}^{4+}$ ,  $\text{Na}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^{2+}$  en solución acuosa, los cuales serán incorporados a los sistemas fluviales y llevados a los grandes reservorios como los lagos y océanos, en donde diversos organismos como las almejas, esponjas silíceas y otros, los emplearán para fabricar sus exoesqueletos. Muchos de los minerales generados como resultado de la hidrólisis son utilizados en la industria de la cerámica o en medicamentos; tal es el caso de la caolinita, que se utiliza en la fabricación de cerámicas o bien, para desarrollar medicamentos empleados en

Es doctor en geociencias por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Es profesor investigador en la Facultad de Ingeniería de la UASLP y realiza el proyecto "Sedimentología y procedencia de las sucesiones Triásicas y Cretácicas en San Luis Potosí".



los problemas estomacales. Del mismo modo, el ácido silícico es utilizado en la generación de cremas dermatológicas para reestablecer las propiedades de la piel, como la elasticidad. Por último, y considerando lo que mencionamos al inicio de este trabajo, la descomposición por hidrólisis ocurre cuando los minerales formadores de roca entran en contacto con el agua, por lo tanto, el grado de descomposición que presenta la roca madre —aquellas que se fragmentan o descomponen para formar partículas o iones disueltos— permite estimar las condiciones climáticas ocurridas en el pasado geológico (Ocampo-Díaz y Ocampo-Martínez, 2022). Un buen ejemplo que documenta cambios drásticos en el pasado geológico en rocas expuestas en las cercanías de Rioverde, San Luis Potosí, es el de Ocampo-Díaz *et al.* (2019). Estos autores documentan un cambio de clima drástico de árido a húmedo tropical con moderada a alta precipitación en algunos millones de años. El cambio climático favoreció la descomposición de las plagioclasas (mayor temperatura de cristalización) y la corrosión y alteración a caolinita de los feldespatos alcalinos —recuerde que estos cristalizan a menor temperatura y, por lo tanto, son más estables a la descomposición—, dando como resultado las primeras incursiones del Golfo de México hacia el continente hace aproximadamente 160 millones de años.

### Conclusiones

Como se ha descrito en párrafos anteriores, en la superficie terrestre ocurren a diario cientos o miles de reacciones químicas, las cuales mantienen el equilibrio de las rocas y minerales que se encuentran en desequilibrio. La mayoría de estas reacciones químicas producen nuevos minerales o compuestos que son benéficos y muy utilizados en nuestra vida diaria. Por ejemplo, la caolinita y el ácido silícico producidos por la descomposición de los feldespatos son ampliamente utilizados en la fabricación de cerámicas, medicamentos o cremas

dermatológicas. Otra reacción que ocurre naturalmente es la oxidación de la piritita, que da como resultado la generación de ácido sulfúrico, el cual es nocivo para los seres vivos. Esta reacción es muy común en los sistemas naturales; sin embargo, se ha visto incrementada con las altas cantidades de minerales que fueron vertidos durante décadas o siglos en los ríos y arroyos como una consecuencia de nuestras necesidades de diversos elementos (como el oro) que tenemos como sociedad. Antes de finalizar este trabajo, le invitamos a reflexionar sobre las cosas que desechamos al medio ambiente, ya que estas pueden reaccionar y ocasionar daños, como una reacción en cadena, a nuestra especie.

### Agradecimientos

A los laboratorios de Cristalografía y Mineralogía de la Facultad de Ingeniería, UASLP, y del Instituto de Geología, UASLP, y al doctor Javier Castro por las fotografías de los minerales. Al Dr. Giovanni Hernández-Flores por la revisión crítica de la versión temprana del manuscrito. Al Dr. Rubén López Doncel por las fotografías de las rocas alteradas de la pirámide de Gizeh.

### Referencias bibliográficas:

- Goldich, S. S. (1938). A study in rock-weathering. *The Journal of Geology*, 46(1), pp. 17-58. <https://doi.org/doi:10.1086/624619>
- Ocampo-Díaz, Y. Z. E. y Ocampo-Martínez, H. H. (2020). El mundo de las arenas: perspectivas sedimentológicas. *Universitarios Potosinos*, 247, pp. 10-15.
- Ocampo-Díaz, Y. Z. E., Torres-Sánchez, S. A., Augustsson, C., Barboza-Gudiño, J. R., García-Díaz, J. L., Talavera-Mendoza, O., Aceves de Alba, J., Castro-Larragoitia, G. J., Martínez-Paco, M., Saucedo, R., y Aguillón-Robles, A. (2019). Provenance and tectonic setting of the Jurassic Huayacocotla Formation and Alamos Sandstone, Central Mexico. *Geochemistry*, 79, pp. 369-383. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2019.05.004>