

PROCESOS GEOQUÍMICOS DE INTERACCIÓN ROCA-AGUA EN BARRERAS NATURALES Y DE INGENIERÍA. HORMIGÓN, BENTONITA Y OTRAS ARCILLAS

J. CUEVAS

Dpto. de Geología y Geoquímica. Universidad Autónoma de Madrid. Cantoblanco. 28049 Madrid.

La investigación de las interacciones roca-agua comprende múltiples facetas. El equilibrio químico, la cinética de las reacciones y los mecanismos que condicionan el transporte en medios porosos a través de superficies reactivas se presentan acoplados. Su estudio persigue determinar soluciones posibles (modelos) que contribuyan a representar diferentes momentos en la evolución de las rocas y de los fluidos asociados en los ambientes superficiales de la corteza terrestre.

Los impactos inducidos por la actividad humana provocan cambios importantes en los escenarios de evolución geoquímica, con relevancia especial si pueden ocasionar la degradación de la biosfera. El enterramiento de residuos de todo tipo y los propios elementos constructivos instalados en los lugares de depósito conllevan la perturbación del sustrato geológico. Es necesario entonces llevar a cabo estudios que permitan predecir la evolución a medio y largo plazo de estos sistemas. Su objetivo es aportar criterios que garanticen la seguridad de los depósitos de residuos y contribuyan a preservar el entorno para las generaciones futuras.

El hormigón y la bentonita (normalmente montmorillonítica) cumplen una función de barrera compuesta en el almacenamiento de residuos radiactivos en rocas arcillosas. En contacto con el agua generan un gradiente de pH impuesto por la reactividad de los dos materiales. Los equilibrios de solubilidad de las fases minerales combinados con el intercambio catiónico regulan el pH entre 14-12.5 (hormigón) y 9-7 (bentonita). Las reacciones que tienen lugar son función de equilibrios locales en la superficie del hormigón ya que este es el material más reactivo en disolución acuosa. Inicialmente, las aguas de poro de un hormigón convencional (i.e.,

OPC: Ordinary Portland Cement), contienen hidróxidos de potasio y sodio a pHs >13. En este ambiente se produce la disolución de la montmorillonita acoplada con la precipitación de zeolitas y la formación, en la interfase con el hormigón, de geles C(A)SH (silicato de (aluminio) calcio hidratado), brucita y/o arcillas magnésicas (Huertas et al., 2005, Sánchez et al., 2006, Gaucher y Blanc, 2006). Esta etapa es corta ya que la reserva de hidróxidos alcalinos es limitada. Posteriormente y durante largo tiempo el sistema permanece controlado por la reacción entre la portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), los geles CASH y la propia bentonita a pHs <12. La evolución temporal de estas reacciones depende de diversos factores como la velocidad de corrosión del hormigón, la importancia de las reacciones de carbonatación o las variaciones acopladas de la porosidad en los materiales.

Se han llevado a cabo numerosos experimentos enfocados a estudiar el transporte de los fluidos alcalinos a través de bentonita u otros materiales arcillosos (transporte dominado por difusión) o en rocas fracturadas (campos de flujo y difusión en la matriz). En ellos se han observado fenómenos de disolución y precipitación que originan cambios, principalmente disminución, de la porosidad y limitan de forma importante la propagación de esta pluma alcalina (Soler y Mäder, 2005). No obstante, existen evidencias de que el incremento de la temperatura puede favorecer las reacciones de disolución y provocar aumentos en la permeabilidad de las bentonitas (Fernández et al., 2006). Lo que es incuestionable es que la descripción fiable de la repercusión espacial de este tipo de reacciones sólo se puede alcanzar cuando se integran la evidencia experimental y las simulaciones de transporte reactivo.

Otro caso en el que se pueden describir procesos complejos de interacción roca-agua es el diseño razonado de vertederos de residuos urbanos. Este es un problema mucho menos investigado que el anterior. Actualmente, sólo se consideran restricciones normativas en cuanto a la permeabilidad de los materiales a emplear. Sin embargo, es necesario evaluar la función hidromecánica (impermeabilización) y físico-química (contención), y su evolución en el tiempo (longevidad) de las barreras de arcilla naturales o geosintéticas, interpuestas como elementos de sellado en vasos de vertido. En el transcurso de experimentos de interacción a escala real entre lixiviados y diferentes arcillas de nuestro entorno, se han encontrado comportamientos muy distintos en función del tipo de arcilla y la presencia-ausencia de minerales accesorios comunes, principalmente calcita, dolomita y yeso. Por ejemplo, la penetración por difusión de aniones en la barrera arcillosa puede ser mucho más rápida que la descrita en función de la permeabilidad en arcillas con hidrólisis ácida y baja superficie específica. En otro sentido, la actividad bacteriana y la penetración de ácidos orgánicos sencillos (aniones), producen la reducción de sulfatos y precipitación de sulfuros (la arcilla se oscurece en un espesor considerable), revelando que la penetración de esta carga orgánica es también más rápida de lo esperado. Muchos compuestos orgánicos y algunos metales pesados tóxicos (Cr, As), se presentan como especie aniónicas, además de formar complejos que incrementan su solubilidad.

El progreso del campo de la protección ambiental pasa por incrementar la capacidad de predecir cómo los sistemas geoquímicos van a evolucionar en periodos de tiempo relevantes al problema estudiado. La propagación de la pluma alcalina generada por un hormigón o la interacción de los

lixiviados de vertederos de RU con las barreras minerales, geosintéticas o naturales, son problemas de transporte reactivo. En ellos, se acoplan procesos de difusión, advección y dispersión con reacciones químicas, que a su vez modifican las propiedades hidromecánicas de los materiales, lo que cerrando el círculo, condiciona los mecanismos de transporte. La modelación del transporte reactivo es una herramienta clave para el análisis de procesos físicos, químicos y biológicos en la geosfera. Muchos de estos acoplamientos son hitos frontera en la investigación, incluyendo el control ejercido en el ambiente natural por el ritmo de reacción entre minerales y fluidos y los factores de escala en el transporte reactivo desde el entorno microscópico, a la escala de poros y a la escala de campo (Steeffel et al., 2005).

REFERENCIAS

- Gaucher, E.C. y Blanc, P. (2006). *Waste Management*, 26, 776-788.
- Huertas, F. J., Rozalen, M. L., Garcia-Palma, S., Iriarte, I. y Linares, J. (2005). In ANDRA (2005): *Ecoclay II: Effects of Cement on Clay Barrier Performance - Phase II. Final Report. EC project n°FIKW-CT-2000-00028; Andra report. n° CRPASC04-0009, 381 p.*
- Fernández, R., Cuevas, J., Sánchez, L., Vigil de la Villa, R. y Leguey, S. (2006). *Applied Geochemistry*, 21, 977-992.
- Sánchez, L., Cuevas, J., Ramírez, S., Ruiz de León, D., Fernández, R., Vigil de la Villa, R. y Leguey, S. (2006). *Applied Clay Science*, 33, 125-141.
- Soler, J.M. y Mäder, K.U. (2005). *Nuclear Science and Engineering*, 151, 128-133.
- Steeffel, C.I., DePaolo, D.J. y Lichtner, P.C. (2005). *Frontiers. Earth and Planetary Science Letters*, 240, 539-558.