



ATENUACIÓN NATURAL Y LA TRANSFORMACIÓN REDUCTIVA EN SEDIMENTOS

Rupert Simon¹

*US-Environmental Protecting Agency, National Exposure Research Laboratory,
College Station Rd., Athens, GA 30605, USA*

INTRODUCCIÓN

Después del aire, el agua es la necesidad más importante para nuestro cuerpo, ya que él mismo consiste de un setenta por ciento de agua. También, ochenta por ciento de la superficie de la Tierra está cubierta por agua y noventisiete por ciento de ella es salada. Del tres por ciento del agua dulce, 2% está congelado en los polos y no es accesible para el uso humano. Queda menos de uno por ciento para nuestro uso [1]. El crecimiento de la población, el consumo abusivo y el desarrollo del estándar de vida han causado en muchos países del mundo la disminución de los recursos naturales en general y del agua potable en especial. *Hoy día unos mil millones de personas no tienen agua potable a su alcance y la situación será peor en el futuro* [2]. Generalmente, para evitar entrapamientos como éste se necesita cerrar los procesos de producción y reciclar los desechos aprovechándolos como materia prima [3]. Este reciclaje se da en la naturaleza y nosotros podemos aprender de su ejemplo (Figura 1).

1. NRC-Associate, email: simonr01@clarke.public.lib.ga.us o simon.rupert@epa.gov

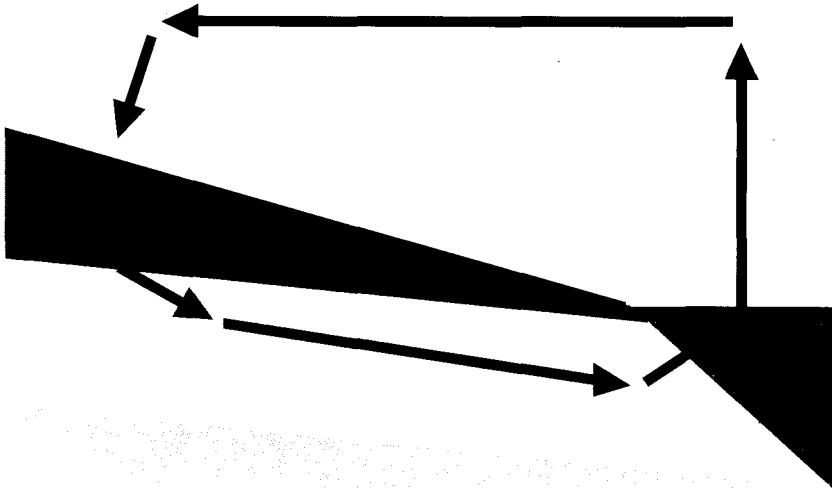


Figura 1. Ciclo del agua

Con respecto al agua, la situación común es que obtengamos agua limpia de fuentes como ríos, lagos o acuíferos, la utilizamos cargándola con desechos y la descargamos en ríos o en el mar, donde la contaminación escapa a nuestra atención. En la naturaleza ocurre un proceso físico-químico de destilación tal que el agua regresa limpia pero en forma de lluvia, nieve etc., completando el ciclo hidrobiológico. Surgen problemas, sin embargo, cuando sustancias introducidas aguas arriba contaminan el curso lótico aguas corriente abajo, resultando en una escasez de agua potable. Más fácil es tratar la contaminación en la fuente. Por eso y para evitar problemas políticos con los vecinos afectados aguas abajo, en Alemania, se trata generalmente las aguas negras mediante procesos oxidativos para eliminar el material orgánico. El efluente de estas empresas es así clarificado y posee mejor calidad, aunque todavía no es potable. Para cerrar el ciclo del agua se necesita una etapa más de tratamiento, y normalmente se confía ésta a la naturaleza (Figura 2).

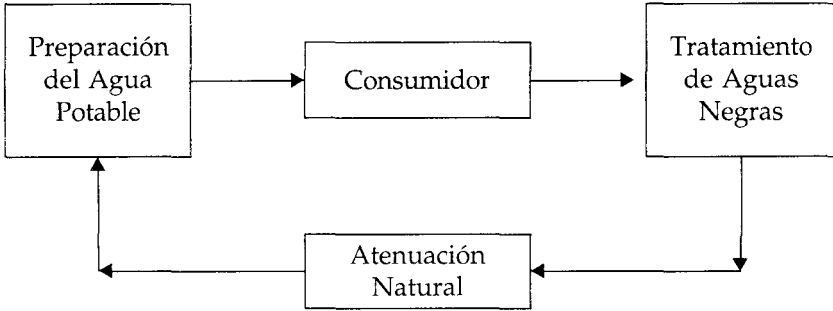


Figura 2. Agua-reciclaje

LA SITUACIÓN EN SEDIMENTOS

Para evaluar cuantitativamente la atenuación natural como proceso de obtención de agua potable se necesita entender los procesos del transporte y las reacciones químicas de estas sustancias en el ambiente respectivo. Todos los procesos químicos dependen de las condiciones redox en su alrededor. En una situación donde el agua recibe sedimentos orgánicos, los aceptores de electrones se consumen sucesivamente en procesos de oxidación microbiana de la materia orgánica. La clasificación de las zonas refleja los oxidantes en los pares redox (zona de reducción de nitrato, manganeso, hierro y sulfato) o el producto (zona de generación de metano, Figura 3).

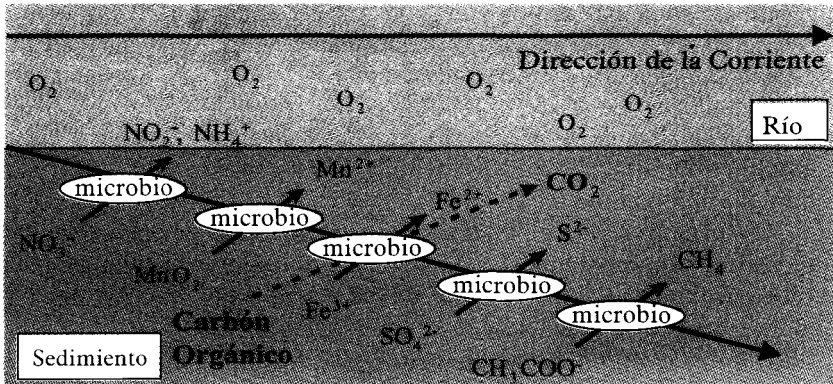
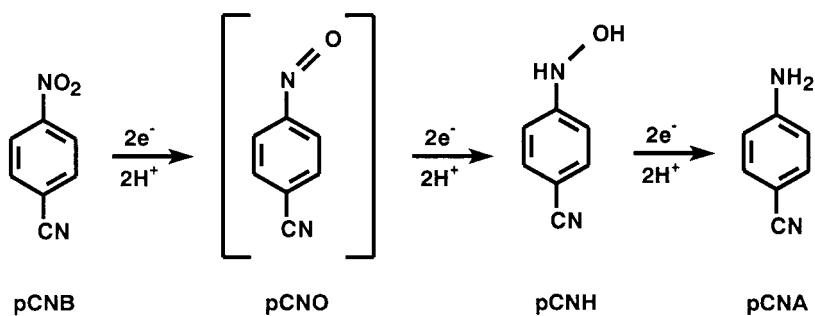


Figura 3. Zonas-redox

La transformación reductiva es la ruta primaria de disipación para varias clases de sustancias químicas en ambientes anaeróbicos donde ocurre zonación redox. Aparentemente, reductores químicos como Fe(II) son adsorbidos en óxidos minerales, sulfuros de hierro, sulfuros disueltos, y sulfuros en la presencia de quinonas. En la investigación más reciente se ha escogido *p*-cianonitrobenzono (pCNB) como sonda molecular, porque la transformación reductiva de compuestos aromáticos de nitrógeno (CAN) ya estaba estudiada extensamente [4]. Típicamente, en estos estudios los CAN son reducidos vía las hidroxilanilinas a las anilinas respectivas, como en el siguiente ejemplo de pCNB:



El pCNB es especialmente favorable para estos estudios porque su reducción es la más rápida y el producto *p*-cianoanilina el más estable con respecto a la formación de residuos no susceptibles a extracción esperándose además un balance de masas aceptable.

UN EJEMPLO DE TRANSFORMACIÓN REDUCTIVA

En el laboratorio se pueden investigar transformaciones reductivas en sedimentos por medio de experimentos discontinuos en ampollas cerradas (batch) o, experimentos de manera continua en columnas. En ambos casos se puede observar el desarrollo de zonas redox (Figura 4) debido a la disminución de la concentración acuosa de nitrato (reducción de nitrato vía nitrito a amonio) y el aumento de las concentraciones de manganeso y hierro (disolución de los óxidos).

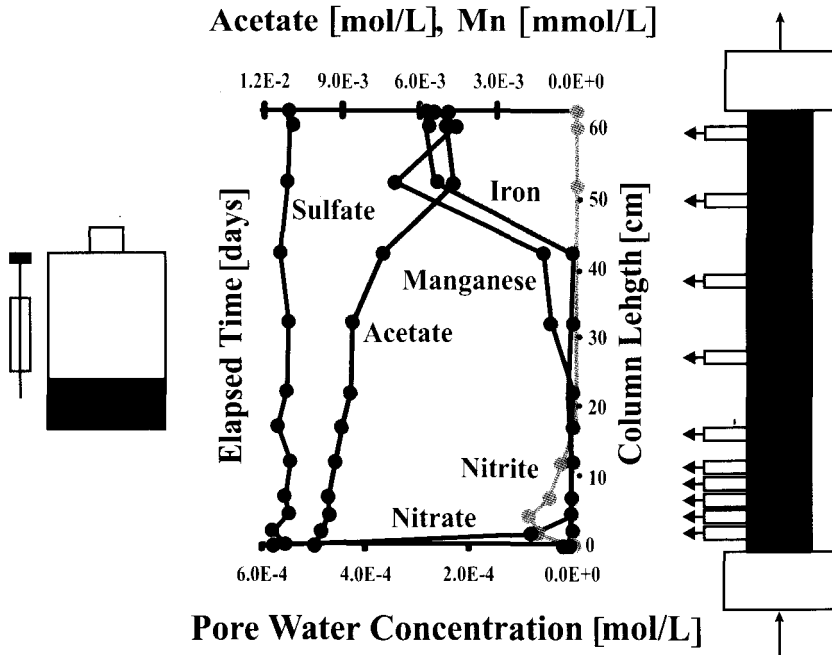


Figura 4. Redox-columna

La reducción de p-cianonitrobenceno, fue recientemente investigada en función de las distintas zonas de reducción-oxidación [4]. El pCNB fue reducido a p-cianohidroxilanilina, pCNH, en la zona de reducción de nitrato y la pCNH fue reducida a p-cianoanilina, pCNA, en la zona de reducción de hierro. La distribución de productos en experimentos 'batch' con goethita sugería que la reducción de pCNB a pCNA vía pCNH en la columna fue causada por ion ferroso adsorbido en el mineral. Usando los datos cinéticos de los experimentos 'batch' en un modelo del transporte reactivo, se ponía manifiesto que el mineral goethita sintética como modelo de la superficie de sedimentos naturales tiene su limitación. Sin embargo, ajustando los parámetros cinéticos resultaba una reproducción exacta de los datos del experimento.

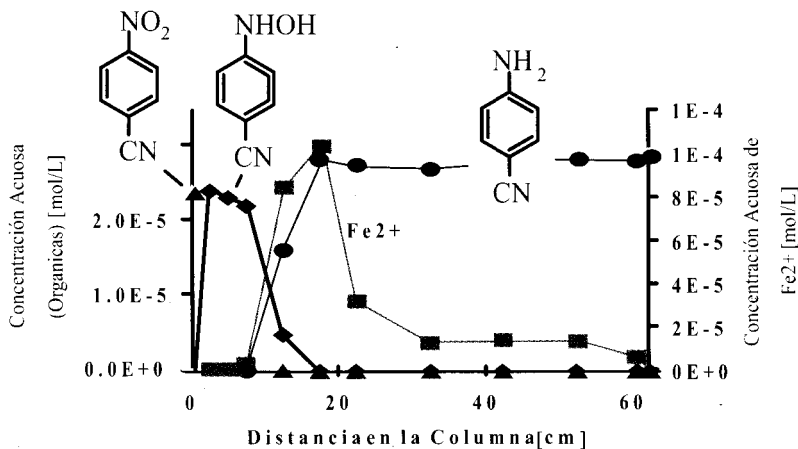


Figura 5. Reducción del p-cianonitrobenzeno

CONCLUSIÓN

La transformación reductiva en sedimentos puede servir como atenuación natural para remover contaminantes del agua para reciclarla para un uso nuevo, falta demostrar en investigaciones futuras si este proceso es suficiente para obtener una calidad de agua que sea potable.

BIBLIOGRAFÍA

1. Atwater, L., *Fascinating Water Facts*. American Water Works Association, 1999.
2. Wieczorek-Zeul, H., *Jahresbericht 1998*. 1998.
3. Ráuchle, F., Basura y Entropía. *Revista de Química PUCP*, 1999. **13**(1): p. 77-82.
4. Simon, R., *et al.*, Effect of Redox Zonation on the Reductive Transformation of *p*-Cyanonitrobenzene in a Laboratory Sediment Column. *Environmental Science and Technology*, 2000, in press.