Escanee la imagen de la tubería a la izquierda con la aplicación móvil "LinkReader" para aprender más información sobre la crisis del agua.

LA CRISIS DEL AGUA EN FLINT: ¿Que esta Pasando?

Cuando el agua de Flint comenzó a oler mal, a tener un sabor extraño, a volverse anaranjada, y que los niños que la bebieron empezaron a desarrollar erupciones cutáneas desagradables, sin duda había algo terriblemente mal. ¿Pero qué? Eso era un misterio que sólo la química podría resolver.

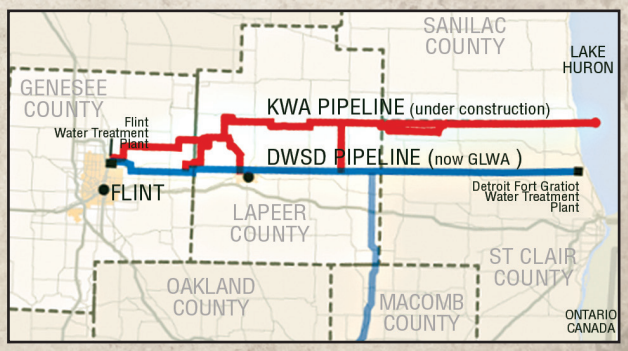
Por Adrian Dingle

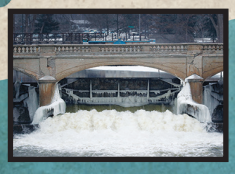
En la primavera de 2014, grandes cantidades de plomo llegaron al agua que algunos residentes de Flint, Michigan, estaban usando para beber, cocinar y cepillarse los dientes. Se sabe que el plomo es especialmente dañino para los cerebros en desarrollo de los niños pequeños. Entonces, ¿cómo entró el plomo en el agua del grifo en Flint?

Tratamiento y suministro de agua

A **principios de 2013**, para ahorrar dinero, los funcionarios de Flint decidieron cambiar la fuente de agua de la ciudad del Departamento de Agua y Alcantarillado de Detroit a la Autoridad del Agua de Karegnondi (KWA, por sus siglas en inglés). Sin embargo, KWA no estaba lista para entregar el agua, porque ellos estaban en el proceso de construir una nueva tubería para traer agua del cercano Lago Hurón. Esto significaba que los funcionarios de la ciudad de Flint necesitaban encontrar una solución a corto plazo mientras se construía la nueva tubería. Ellos decidieron usar agua del Río Flint local que ellos limpiarían en plantas de tratamiento de agua.

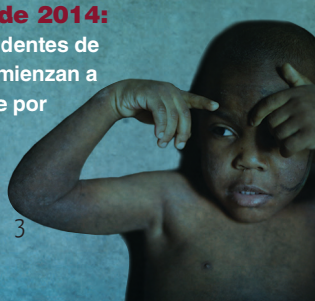
En **abril de 2014**, Flint cambió a la nueva fuente, y los problemas comenzaron casi inmediatamente. En pocas semanas, los residentes se quejaban del agua maloliente y descolorida. La ciudad inicialmente negó que hubiera problemas, pero en pocos meses, ellos emitieron un aviso sobre hervir el agua. Más tarde, en **octubre de 2014**, la planta de automóviles de General Motors en Flint anunció que ya no utilizarían el agua, porque ellos temían que causara corrosión dentro de la fábrica.





Abril de 2013: Frente a las severas presiones financieras, la ciudad de Flint, Michigan, decide cambiar la fuente de agua de la ciudad y firma un contrato con la Autoridad del Agua de Karegnondi (KWA, por sus siglas en inglés), pero KWA no suministraría agua hasta el 2016.

Abril de 2014: Flint comienza a usar agua del Río Flint hasta que la tubería de KWA del Lago Hurón esté completa.



Mayo de 2014: Los residentes de Flint comienzan a quejarse por el agua.

AP IMAGES; WWW.JIMWESTPHOTO.COM; THINKSTOCK; © REGINA H. BOONE/DETROIT FREE PRESS/ZUMA PRESS. VIDEO LINK HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=K18VB6WPXZ4

Unos meses después, Flint dijo a sus residentes que su agua tenía altos niveles de moléculas orgánicas llamadas **trihalometanos**. Estas moléculas son similares a las moléculas de metano (CH_4), pero tres de los átomos de hidrógeno son reemplazados con átomos de halógeno (grupo 17)—flúor, cloro, bromo o yodo. Los cuatro trihalometanos más comunes son dibromoclorometano ($CHClBr_2$), diclorobromometano ($CHCl_2Br$), triclorometano ($CHCl_3$)—mejor conocido como cloroformo—y tribromometano ($CHBr_3$).

Los trihalometanos son una preocupación porque se han relacionado con numerosos problemas de salud, incluyendo problemas de hígado, riñón, pulmón y corazón. Cuando el cloro es usado para desinfectar el agua reacciona con algas, hojas y malezas, produciendo trihalometanos.

Niveles tóxicos de plomo

Los trihalometanos son sólo un grupo de productos químicos asociados con la contaminación del agua, el plomo es otro. El plomo fue una opción popular para usarse en tuberías de agua durante siglos. Los romanos utilizaron el metal denso debido a su durabilidad y maleabilidad. Las tuberías de agua ya no están hechas de plomo, pero las ciudades más viejas, como Flint, todavía dependen de las tuberías de plomo—además de las hechas de cobre y hierro—para transportar el agua a los hogares de las personas. Nadie sabe exactamente cuántas tuberías de plomo son utilizadas en los Estados Unidos, pero el número está en los millones. Además de las propias tuberías, el plomo también se encuentra en las aleaciones (mezclas de metales) en otras partes del sistema de plomería. Por ejemplo, la soldadura usada para unir tubos es una aleación de estaño y plomo.

En Flint, los niveles masivos de plomo entraron en el sistema de agua. En una muestra de agua tomada de un hogar de Flint, se encontró un nivel de plomo de 13,000 partes por billón (ppb). Los químicos que examinaron el agua fueron escépticos al principio. Pero después de repetir el experimento un número de veces, encontraron que la lectura de 13,000 ppb era exacta.

Es importante señalar que ningún nivel de plomo en el suministro de agua se considera seguro, pero la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) ha establecido un nivel máximo de contaminación por plomo en el agua del grifo en el 90% de los hogares a 15 ppb—también conocido como el "nivel de acción". Esa muestra particular del agua de Flint tenía un nivel de plomo cerca de 1,000 veces el nivel de acción.

Arriba a la izquierda, Otto Schawake, un microbiólogo postdoctoral en Virginia Tech, examinó el agua del grifo de Flint para patógenos transmitidos por el agua. Parte superior, agua que fluye de un grifo en un hospital en Flint, Michigan. Arriba, las tuberías del sistema de distribución de agua de Flint después de que la ciudad decidió utilizar el agua del Río Flint local.

Técnicas de prevención del plomo

Los agentes oxidantes en el agua, como el oxígeno disuelto, pueden reaccionar con las tuberías de plomo expuestas, causando que los iones Pb^{2+} solubles entren en el suministro. Están involucradas dos reacciones químicas: 1) oxidación, y 2) reducción. Ambas reacciones se llaman reacciones redox, para abreviar. En la reacción de oxidación, el plomo pierde electrones y forma los iones Pb^{2+}, como sigue:

$$2\ Pb(s) \rightarrow 2\ Pb^{2+}(aq) + 4\ e^-$$

En la reacción de reducción, el oxígeno gana electrones, como sigue:

$$4\ e^- + 2\ H_2O\ (l) + O_2\ (aq) \rightarrow 4\ OH^-\ (aq)$$

Derecha, muestras de agua de Flint recogidas por científicos de Virginia Tech

THE FLINT WATER PROJECT; THINKSTOCK; SHUTTERSTOCK

Agosto de 2014:
Pruebas de agua positivas para la bacteria E. coli; un aviso de hervir agua se publica en lugares de Flint.

Enero de 2015:
Flint anuncia que el agua contiene altos niveles de trihalometanos, en violación de la Ley de Agua Potable Segura, pero los funcionarios de la ciudad le dicen a los residentes que el agua es segura.

Febrero de 2015:
El hijo de la residente de Flint LeAnne Walters desarrolla erupciones cutáneas. Se detectan altos niveles de plomo en el agua de su casa.

Juntas, las reacciones de oxidación y reducción se combinan para dar la reacción redox completa:

2 Pb *(s)* + O_2 *(g)* + 2 H_2O *(l)* → 2 Pb(OH)2 *(s)*

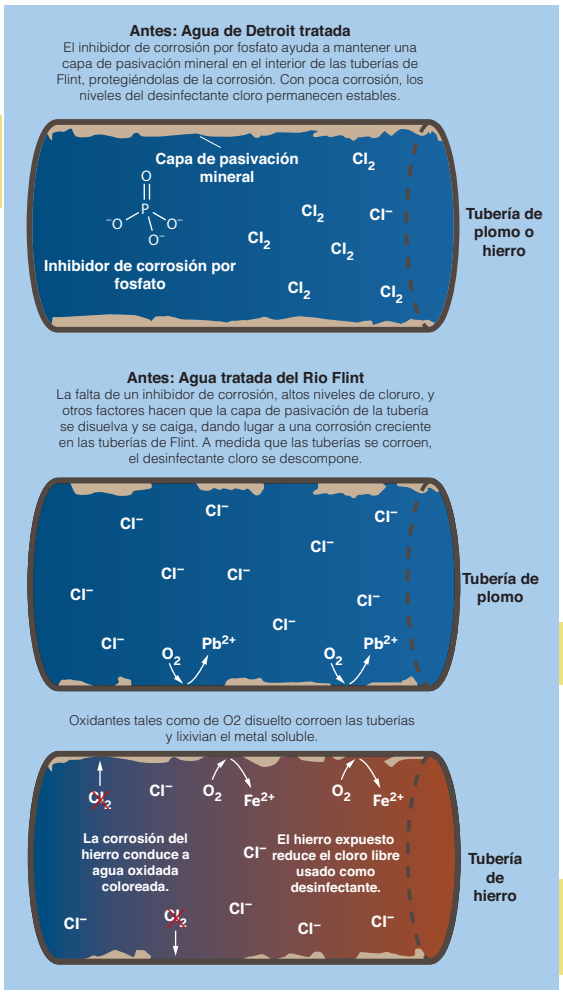
Las ciudades utilizan varios métodos para prevenir que las tuberías de plomo lixivien iones de plomo en el suministro de agua. Un método consiste en crear una capa protectora en el interior de la tubería. Esto se hace añadiendo iones fosfato (PO_4^{3-}) al suministro de agua. El fosfato también se conoce como ortofosfato. Estos iones poliatómicos negativos ayudan a crear fosfato de plomo (II) ($Pb_3(PO_4)_2$), una corteza como mineral, insoluble, en el interior de las tuberías.

La adición de iones fosfato al agua necesita ser un proceso en curso y continuo, y si la corteza se mantiene con el tiempo, el agua entra en menos o ningún contacto con la tubería de plomo es sí y, como resultado, se producen menos reacciones redox y menos plomo entra en el agua. Si la corteza de fosfato no se mantiene, se descompone con el tiempo y el plomo se puede lixiviar en el suministro de agua.

El agua que Flint solía obtener cerca de Detroit fue tratada con iones fosfato de esta manera y, como resultado, permaneció relativamente libre de iones de plomo. Cuando Flint cambió su suministro de agua al agua del río, las autoridades no lo trataron con iones fosfato, por lo que la corteza de fosfato se rompió con el tiempo y los iones de plomo entraron en el agua.

Factores complicando

Además de la pérdida de la capa protectora de fosfato en las tuberías, también se produjeron otros dos problemas.



En primer lugar, el agua del río Flint tenía algunos niveles inusualmente altos de iones cloruro, que pueden acelerar la corrosión de las tuberías. En parte, estos altos niveles de cloruro provienen de sales usadas para tratar carreteras durante los inviernos fríos y nevosos de Michigan. A menudo, los cloruros entran en los ríos como escorrentía desde las carreteras. Esto es en realidad un ejemplo de conexiones entre diferentes aplicaciones de la química: el deshielo de las carreteras resbaladizas de Michigan tiene algunos beneficios inmediatos y obvios, pero el escurrimiento de los iones cloruro puede ser una consecuencia no deseada.

En segundo lugar, el pH del agua de las plantas de tratamiento de agua de Flint era demasiado bajo. Manteniendo un pH relativamente alto (alrededor de 10), disminuye la solubilidad de otro compuesto de plomo que contribuye a la capa protectora, carbonato de plomo (II) ($PbCO_3$). Esto ayuda a mantener la capa protectora de las tuberías. Si el pH es demasiado bajo, la capa protectora puede disolverse y caerse. Podemos explicar esto considerando el Principio de Le Châtelier, que establece que un sistema que se aleja del equilibrio actúa para restablecer el equilibrio al reaccionar en oposición al cambio.

El carbonato de plomo (II) es relativamente insoluble en agua, pero se disuelve un poco y, en el proceso, establece este equilibrio:

$PbCO_3$ *(s)* ⇌ Pb^{2+} (aq) + CO_3^{2-} *(aq)*

Los iones de carbonato que se producen pueden entonces reaccionar con cualquier ión de hidrógeno (ácido) presente en el suministro de agua, de acuerdo con esta ecuación:

CO_3^{2-} *(aq)* + H^+ *(aq)* → H_2O *(l)* + CO_2 *(g)*

Cuanto más bajo sea el pH, más iones hidrógeno estarán presentes en solución y más reaccionarán los iones carbonato. La eliminación de los iones carbonato del sistema de equilibrio del carbonato de plomo (II) en la primera ecuación resulta en un aumento en la concentración de iones plomo. Para restablecer el equilibrio, la reacción química se desplaza hacia la derecha, de modo que se producen iones carbonato adicionales (e iones plomo).

Para asegurarse de que el número de iones de plomo y de carbonato es el mismo en el lado derecho de la ecuación, la reacción se desplaza a la izquierda y a la derecha unas cuantas veces hasta que se alcanza un nuevo

Septiembre de 2015:
Los datos muestran que muchos niños tienen niveles elevados de plomo en su sangre.

Octubre de 2015:
Flint vuelve a usar agua de Detroit.

Enero de 2016:
El gobernador de Michigan, Rick Snyder, declaró un estado de emergencia en Flint. Entonces, el presidente Barack Obama firma una declaración de emergencia y ordena ayuda federal para Flint.

THE FLINT WATER PROJECT; CHEMICAL & ENGINEERING NEWS; AP IMAGES

equilibrio. En este nuevo equilibrio, el número de iones plomo es el mismo que el número de iones carbonato, pero el número de iones plomo es mayor que lo que era durante el equilibrio original (antes de que los iones carbonato fueran eliminados), dando lugar a más iones de plomo en equilibrio que antes.

Se encontró que el agua de Flint tenía valores de pH entre 7 y 8, lo cual no es lo suficientemente básico como para prevenir que el carbonato de plomo se disuelva. La falta de una capa protectora en las tuberías de hierro puede provocar una reacción de oxidación similar a la que se produce en las tuberías de plomo:

Fe *(s)* → Fe2+ *(aq)* + 2 e–

Los iones de hierro acuosos pueden hacer que el agua cambie a un color óxido feo, pero también puede tener otro efecto secundario problemático. Esta vez, el cloro elemental (Cl_2) puede reducirse a iones cloruro (C^{l-}). Cuando los electrones son cedidos por el hierro y recogidos por las moléculas de cloro, se produce la siguiente reacción de reducción:

$2\ e^- + Cl_2\ (aq) \rightarrow 2\ Cl^-(aq)$

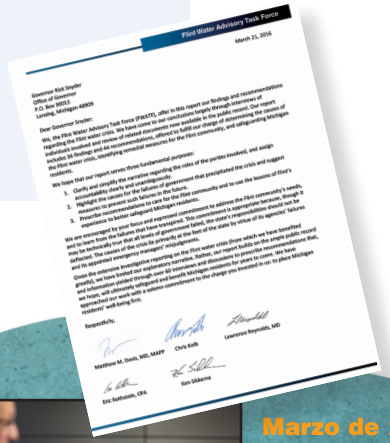
La pérdida de cloro elemental es un problema potencialmente enorme para la salud pública. El cloro es añadido al suministro de agua para eliminar los patógenos transmitidos por el agua. La eliminación del cloro elemental a través de la reducción puede significar que los patógenos transmitidos por el agua tienen una mejor oportunidad de sobrevivir, causando enfermedades.

NO SOLO EN FLINT

La crisis del agua de Flint puede ser la contaminación de plomo más seria en el agua potable hasta la fecha, pero otros suministros de agua en los Estados Unidos también se han visto afectados. En 2001, **Washington, D.C.,** cambió la manera en que trataba el agua potable, y los niveles de plomo aumentaron dramáticamente. En 2006, se encontraron niveles inseguros de plomo en Durham y **Greenville, N.C.** En el verano de 2015, los funcionarios descubrieron una contaminación significativa de plomo en el agua potable en **Jackson, Mississippi,** pero esperaron seis meses antes de informar a los residentes. La lista continua.

El Congreso de Estados Unidos prohibió el uso de tuberías de plomo hace 30 años, pero la regla aplica sólo a las nuevas tuberías de agua. Millones de las tuberías viejas siguen en uso. Una posible solución es desenterrar y reemplazar estas tuberías de plomo, como ocurrió entre el 2001 y el 2011 en **Madison, Wisconsin.** Pero hacerlo es costoso, y no todas las ciudades tienen los medios financieros para hacerlo. Otras soluciones incluyen la adición de más o diferentes productos químicos a la fuente de agua y continuamente hacer pruebas para contaminantes. El problema no es fácil de resolver, pero al menos la crisis del agua de Flint ha aumentado la concienciación sobre el tema, y puede conducir a un agua potable más segura en los Estados Unidos en el futuro.

—Adrian Dingle



¿Cómo está el agua de Flint ahora?

En octubre de 2015, Flint volvió al sistema de Detroit como la fuente de su agua. Pero este incidente todavía tendrá algunas consecuencias de largo alcance.

En la parte superior de la lista se encuentran los posibles continuos problemas de salud que los estimados 6,000 a 12,000 niños pueden tener que hacer frente. Nadie puede predecir cuáles pueden ser esos problemas, pero los altos niveles de exposición al plomo se han vinculado a problemas de desarrollo y de comportamiento en los niños y a problemas relacionados con la función cerebral. Probablemente será mucho tiempo en el futuro antes de que todos los problemas salgan a la luz, pero las preocupaciones son reales y preocupantes para todas las familias afectadas.

Además de los problemas de salud a largo plazo, se han presentado una serie de demandas contra Flint y los funcionarios de Michigan, y serán requeridos millones de dólares para enfrentar la crisis y reconstruir el sistema de tuberías de agua. En enero de 2016, el gobierno de Estados Unidos prometió 80 millones de dólares en ayuda al estado de Michigan, la mayoría de los cuales se utilizarán para reparar la infraestructura del sistema de abastecimiento de agua de Flint. En febrero del mismo año, el Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos anunció que $ 500,000 estarían

Enero de 2016: Voluntarios de todo el país, incluyendo estudiantes de la Escuela Superior "Harper Woods", Harper Woods, Michigan (también en la portada), donan agua y suministros a los residentes de Flint.

Marzo de 2016: El grupo de trabajo de agua de Flint, nombrado por el Gobernador Snyder, encuentra que las agencias estatales en Michigan son principalmente responsables de la crisis.

ADOBE STOCK; SHUTTERSTOCK; AP IMAGES; STUDENT PHOTO BY DEB JACQUES, COURTESY OF C & G PUBLISHING

disponibles para dos centros de salud del área de Flint para ayudar a combatir los problemas causados por el agua contaminada.

A través del conocimiento de la química, incluyendo la formación de precipitados, la escala de pH y la química redox de las semi-reacciones, los científicos fueron capaces de resolver el misterio del agua Flint. La crisis se detuvo antes de que empeorara, y el suministro de agua de Flint se hizo seguro —todo gracias a la química.

REFERENCIAS SELECCIONADAS

Cómo terminó el plomo en el agua del grifo de Flint. *Chem. & Eng. News*, 94 (7), 11 de febrero de 2016, pp 26–29.

Haines, G. K. ¿Es esto aguas residuales recicladas? *ChemMatters*, Febrero de 2011, pp 8–10.

Walters, L. A. Actualizaciones del estudio del agua de Flint. Instituto Politécnico de Virginia y Universidad Estatal: http://flintwaterstudy.org/ [accedido junio de 2016].

Dennis, B. El agua en Flint está mejorando pero todavía es inseguro beberla, los investigadores dicen. *The Washington Post*, 12 de abril de 2016: http://tinyurl.com/zdn3o2a [accedido junio de 2016].

Adrian Dingle es un escritor de ciencia que vive en Atlanta, Georgia. Este es su primer artículo en *ChemMatters*.

El Proyecto SEED, establecido en 1968, ofrece a los estudiantes de la escuela secundaria de escasos recursos económicos la oportunidad de una experiencia en una carrera de las ciencias de la química. Los estudiantes son colocados en laboratorios académicos, industriales, o gubernamentales durante 8-10 semanas en el verano para realizar prácticas en proyectos de investigación de ciencias con científicos voluntarios. Estudiantes del Proyecto SEED reciben una beca de $2,500.

Los exalumnos del Proyecto SEED son elegibles para aplicar a una beca, no renovable, para el primer año universitario. Las becas están destinadas para ayudar a los exalumnos del Proyecto SEED en su transición de la secundaria a la universidad. Las becas están designadas para los estudiantes que desean estudiar una carrera en el campo de la ciencia química, tales como la química, ingeniería química, bioquímica, o ciencia de materiales.

Para más información, por favor contacte a:

Project SEED
American Chemical Society
Education Division
1155 Sixteenth Street, N.W.
Washington, DC 20036
202-872-4380