

## En Busca de Agua Pura

El agua en India y Bangladesh está contaminada con arsénico, pero la química tiene soluciones.

*Por Christen Brownlee*

Tanto en Estados Unidos como en muchos otros países, es relativamente fácil conseguir agua potable pura. Tan solo abre el grifo y saldrá fluyendo. Pero no todos cuentan con esa suerte. En algunos países, tener acceso a un vaso de agua pura es un lujo... y en algunos lugares, como India y Bangladesh, hasta puede significar la diferencia entre la vida y la muerte. En estos países asiáticos vecinos, el agua potable que consumen con confianza millones de ciudadanos está contaminada con arsénico.

Algunos científicos emprendedores han descubierto formas de eliminar el arsénico del agua para beber. Tres de ellos (Abul Hussem, profesor adjunto de Química y Bioquímica de la Universidad George Mason, Fairfax, Virginia; Arup K. SenGupta, profesor de Ingeniería Química e Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Lehigh, Bethlehem, Pennsylvania; y Phil Souter, químico en Procter & Gamble) junto con sus colegas han logrado obtener resultados tan exitosos que recibieron premios por el valor de un millón de dólares, doscientos mil dólares, y cien mil dólares, respectivamente, otorgados por la Academia Nacional de Ingeniería, en Washington, DC.

Estos científicos crearon técnicas de purificación de agua, las cuales tienen dos ventajas: son fáciles de usar y accesibles para las personas que más las necesitan, es decir, aquellas que viven en las zonas más pobres de India y Bangladesh. Estos sistemas dieron tan buenos resultados que se los están implementando cada vez en más lugares en India y Bangladesh.

### **Agua contaminada que resulta mortal**

Hace algunas décadas las personas que vivían en India y Bangladesh contaban casi sólo con el agua de la superficie, es decir, la que proviene de estanques, lagos y ríos. Con esta agua cocinaban sus alimentos, se bañaban y saciaban su sed. Pero el crecimiento de la población y las malas condiciones de higiene hicieron que el agua de la superficie se contaminara y las personas que la bebían se enfermaban.

En la década del 70 algunos ingenieros y organismos de ayuda propusieron una técnica aparentemente perfecta, para evitar la presencia de microbios en el agua, pero no tuvieron en cuenta que debían controlar la calidad del agua. Al taladrar pozos poco profundos, llamados pozos entubados, a una profundidad de entre 10 y 50 metros, pudieron acceder al agua subterránea que había sido filtrada naturalmente a través del suelo y que no contenía microbios.

Lamentablemente, en muchas zonas, el agua subterránea contenía especies arsénicas

inorgánicas, llamadas arsenita ( $\text{H}_3\text{AsO}_3$ ) y arseniatos ( $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$  y  $\text{HAsO}_4^{2-}$ ), que son sustancias químicas mortales. Unos 20 años más tarde, algunas pruebas demostraron que en miles de pozos entubados se bombeaba agua con mucho contenido de arsénico.

Las tres especies de arsénico son componentes naturales de las rocas y el suelo, pero no contaminan el agua superficial, ya que se unen al hidróxido férrico ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ), un componente muy rico en el suelo. Pero debajo de la tierra, diferentes clases de bacterias reducen el ion férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) —uno de los dos iones que componen el  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ :  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{OH}^-$ — a un ion ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ), que es más soluble que los iones férricos y se separa del arsénico, volcándolo en el agua sub-superficial.

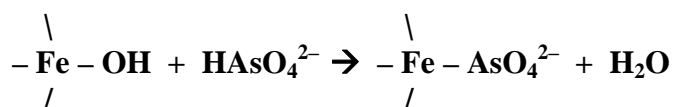
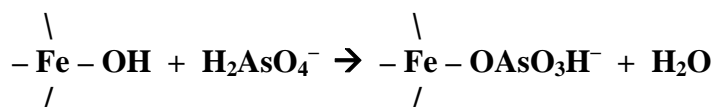
Los efectos que provoca el arsénico del agua bebible en la salud de las personas no son inmediatos, pero con el paso del tiempo, el agua envenenada puede causar cáncer y llevar a la muerte. Los primeros síntomas son apariciones de manchas oscuras y duras en la piel, seguidas por daños en los nervios, por lo general en manos y piernas, lo que puede llevar a su amputación. También puede causar cáncer de hígado e insuficiencia renal. Una persona que consume agua contaminada con arsénico durante algunos años, muere por lo general por arsenicosis, una forma de envenenamiento lento provocado por el arsénico.

### Fabricando filtros con cubos

Cuando Hussam se enteró de que sus propios parientes, que viven en una zona con más de medio millón de habitantes en una parte de Bangladesh llamada Kushtia, habían estado tomando agua con arsénico, decidió encontrar una solución. En 1997 empezó a medir la cantidad de arsénico en el agua y desarrolló un sistema de filtración con el que se podían eliminar las especies arsénicas tóxicas provenientes de los pozos entubados.

Hussam y sus colegas fabricaron un prototipo de filtro que se basa en dos cubos, ubicados uno encima del otro. El agua ingresa primero al cubo de arriba, luego pasa por un material especial llamado compuesto de matriz de hierro, una combinación de hierro e hidróxido de hierro.

El manganeso en la matriz cataliza la transformación de la arsenita, que es más tóxica y la convierte en iones de arseniato. Estos iones se unen y forman una superficie de partículas de hidróxido de hierro detallada a continuación:



En estas reacciones químicas, se observa cómo los iones arseinato se unen a grupos de oxidrilo ( $-\text{OH}$ ) presentes en la superficie de las partículas de hidróxido de hierro, mientras que los átomos de hierro ( $\text{Fe}$ ) se unen a átomos dentro de cada una de las partículas de hidróxido de hierro (por lo tanto, las líneas que se refieren a esas uniones se profundizan en cada partícula).

Cuando el agua corre por el segundo cubo, capas de arena y carbón vegetal eliminan las partículas de hidróxido de hierro sólido con su carga de arsénico adherido, junto con otras sustancias químicas que no fueron "atrapadas" en el filtro superior. El agua pasa por este segundo cubo y se acumula en un recipiente.

“No testeamos este prototipo de filtro en el laboratorio, sino con agua subterránea real, exactamente en los campos de Bangladesh”, dice Hussam. “Pensamos que si funcionaba con agua que la gente lleva a sus casas para beber, podíamos seguir trabajando en eso. De no ser así, debíamos volver al punto de partida y probar otra cosa”.

Afortunadamente, el prototipo de Hussam dio buenos resultados y, luego de que lo optimizaran en el año 2000, Hussam y su equipo comenzaron a fabricar los filtros en grandes cantidades. En la actualidad se han distribuido más de 72.000 de estos filtros de cubos, llamados SONO en Bangladesh. Cada uno tiene un precio de aproximadamente 40 dólares y una vida útil de por lo menos cinco años.

Si tenemos en cuenta el parámetro de medición más importante, la salud de las personas, podemos decir que los filtros funcionan. "Las personas que padecen de arsenicosis y han estado usando los filtros durante los últimos dos a cuatro años han comprobado mejoras en su enfermedad, y se sienten mejor", dice Hussam.

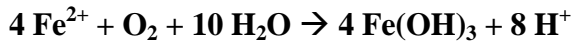
### **Eliminar el arsénico directamente en la bomba**

Filtrar el agua después de que la gente la lleva a sus casas no es la única solución para la contaminación con arsénico. SenGupta propuso una solución que atrapa el arsénico en las fuentes de agua: los pozos entubados.

Cada pozo entubado provee agua para alrededor de 200 familias. Todos los días, algunos miembros de estas familias, por lo general esposas o hijas, se dirigen al pozo entubado central para buscar agua. La obtienen utilizando una bomba manual y luego la transportan en cubos hasta sus hogares. "Pensamos que es mucho mejor, más efectivo y más barato eliminar el arsénico directamente en la bomba", dice SenGupta.

SenGupta y sus alumnos graduados trabajaron junto con la Universidad de Ciencia e Ingeniería Eléctrica de Shibpur, India, para formar una unidad de tratamiento que no necesite de electricidad -dado en que varios pueblos ésta no siempre funciona-, y que sea fácil de manipular. La mayoría de las personas del pueblo van hasta un pozo entubado para conseguir agua, donde giran la manivela de la bomba y juntan el agua. La unidad de tratamiento fue diseñada para permitir que los habitantes del pueblo obtengan el agua de la misma manera.

La unidad de tratamiento es una columna de acero inoxidable, que contiene una sustancia llamada alúmina adsorbente ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) o un polímero), que atrae otras moléculas hacia su superficie y está adherido a la bomba manual del pozo entubado. Cuando una persona hace funcionar la bomba manual, el dispositivo hace que el agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) que sale del pozo salga en forma de rocío y entre en contacto con oxígeno ( $\text{O}_2$ ). Esto oxida el hierro presente en el agua subterránea y forma hidróxido de hierro, que se separa del agua.



Luego el hidróxido de hierro y el adsorbente atraen el arsénico del agua subterránea contaminada, purificándola para el consumo humano. Entre los 8 y los 10 meses, se reduce el adsorbente en el dispositivo de filtración, y los habitantes del pueblo tienen que regenerarlo. Pueden ir a una instalación de regeneración central donde éste se reactiva. También quitan el arsénico retenido en los filtros y lo envasan para eliminarlo en forma segura.

“La forma de deshacerse del arsénico es tan importante como purificar el agua para el consumo humano”, dice SengUpta. “Con ese fin se ha establecido un comité en cada pueblo, con mayoría de mujeres, responsable por el mantenimiento diario de las unidades de eliminación de arsénico”.

En la actualidad ya existen alrededor de 175 filtros para bombas manuales en India. “Unas 150.000 personas están bebiendo agua potable pura gracias a este filtro para bomba manual”, dice SenGupta. “¡Queremos que esa cifra siga creciendo!”

### **Polvo que elimina arsénico**

En la mayoría de los países desarrollados se elimina por lo general el arsénico del agua en plantas de tratamiento de agua. Pero construir esas instalaciones en algunas zonas de India y Bangladesh resulta demasiado caro donde cientos de millones de personas viven en pueblos. Souter y sus colegas en Procter & Gamble propusieron una solución diferente basada en la misma idea: pequeños paquetes que contienen un polvo y que las personas pueden llevar a sus hogares.

“Muchas instalaciones de tratamiento del agua municipales contienen una mezcla de sustancias químicas estándar que las ciudades intentan refinar basándose en la calidad del agua local”, afirma Souter. “Pero los habitantes de países subdesarrollados, como India y Bangladesh, por lo general, no tienen acceso al conocimiento de qué sustancia tóxica contiene el agua que beben. Por eso, encontramos una solución que permite eliminar el arsénico del agua, más allá de que la gente sepa si el agua contiene arsénico o no.”

Souter y sus colegas testearon sustancias químicas similares a las que se utilizan en las

instalaciones de tratamiento de agua y descubrieron una forma de envasar estas sustancias es una pequeña bolsa del tamaño de un envase de ketchup. Al igual que lo que sucede en las grandes instalaciones de tratamiento de agua, en estos paquetitos se llevan a cabo tres pasos llamados coagulación, floculación y desinfección.

Primero se remueve el contenido de un paquete en un recipiente con agua durante cinco minutos, mientras que una sustancia química llamada sulfato férrico hace que los metales pesados (como el arsénico) y los minerales se condensen o “coagulen”, separándose del agua y formando granos diminutos, como si fueran arena.

Luego, un polímero que se encuentra en la mezcla química permite que los granos se aglutinen formando grandes terrones, que se asientan en la base del recipiente. Este proceso se llama floculación. Mientras se forman los granos y terrones, un desinfectante basado en cloro elimina las bacterias del agua.

Luego se escurre el agua a través de un paño limpio para filtrar los terrones, y después de 20 minutos, tiempo necesario para que el agua se desinfecte, está lista para beber. "Imagínate el agua marrón e insalubre al principio, y luego clara y pura... así es como funciona este producto", dice Souter.

Con un paquete se pueden purificar 10 litros de agua, que es lo que una persona puede transportar desde un pozo entubado hasta su hogar, y es suficiente como para cubrir las necesidades de bebida diaria que necesita una familia de cuatro integrantes. Cada paquete tiene un precio de aproximadamente tres centavos, que por lo general es pagado por asociaciones humanitarias.

Si bien muchas personas en India y Bangladesh no tienen acceso al agua de grifo, estos tres procedimientos les posibilitan consumir agua pura y pueden evitar que una cantidad cada vez mayor de personas sea víctima del envenenamiento por arsénico. A veces, la combinación de simples mecanismos con la química apropiada puede tener un tremendo impacto en la calidad de vida de las personas.

**Christen Brownlee** es escritora de ciencia en el Departamento de Relaciones con los Medios de Comunicación y Relaciones Públicas de la Facultad de Medicina de la Universidad Johns Hopkins en Baltimore, Maryland. Su artículo "Percy Julian: Superando el Racismo" ("Percy Julian: Rising Above Racism"), fue publicado en la edición de octubre 2007 de *ChemMatters*.