



Venenos en la naturaleza

¿Existe la contaminación natural?



Andrea Pasquini

Doctora en Ciencias Geológicas
Investigadora Independiente del CONICET
Docente de la Escuela de Geología
FCEfYn, Universidad Nacional de Córdoba



Karina Lecomte

Doctora en Ciencias Geológicas
Investigadora Adjunta del CONICET
Docente de la Escuela de Geología
FCEfYn, Universidad Nacional de Córdoba

“Nada es veneno, todo es veneno: la diferencia está en la dosis”

Paracelso
(1493-1541)

La naturaleza es generadora de paisajes, plantas y animales espléndidos, pero también en algunas ocasiones es un agente secreto. Se disfraza dentro de la belleza de los minerales para luego desarmarlos y liberar sustancias tóxicas o venenosas que estaban prisioneras en sus estructuras cristalinas. Estas sustancias viajan a través del aire y del agua y quedan atrapadas en los suelos, exponiendo a los seres vivos a compuestos tóxicos.

La preocupación por la degradación del ambiente y la contaminación del planeta Tierra ha sido reconocida como un grave problema a nivel mundial en las últimas décadas. Los diferentes actores sociales en su conjunto han advertido desde hace algún tiempo la importancia que revisten el agua, el suelo, la biota y las cuencas hídricas para el bienestar de la humanidad y la preservación de los ecosistemas. Uno de los desafíos sociales más importantes del siglo XXI está referido a la necesidad de conocer y gestionar adecuada y eficientemente los recursos naturales frente a la presión creciente de su demanda. Dentro de las próximas cuatro décadas se espera que la necesidad de alimentos y energía se duplique, junto con el aumento de más del 50% en la demanda de agua dulce.

La calidad de los recursos naturales está siendo amenazada de manera cada vez más acelerada, lo que incrementa los niveles de contaminación. La contaminación se produce por efecto de introducir materia, formas de energía o inducir condiciones en un medio que, de modo directo o indirecto, lo hagan inseguro o no apto para su uso. Es decir, un ambiente está contaminado cuando cualquier agente físico, químico o biológico está presente en cantidad suficiente como para causar efectos dañinos, que afecten a la vida, la salud, el bienestar humano, la flora, la fauna o degraden el entorno.

La contaminación se asocia comúnmente con la acción del hombre. Las actividades urbanas y domésticas, por ejemplo, producen contaminación a tra-



Algunas definiciones importantes...

¿Qué es la calidad del agua?

La calidad del agua se define a partir de un conjunto de características físicas, químicas y biológicas que hacen que el agua sea apropiada para un uso determinado. En general, la calidad del agua se determina comparando estas características con “niveles guía”, definidos para cada uno de sus posibles usos. No son iguales las exigencias de calidad para agua de bebida que para aquella utilizada en la generación de energía.

¿Qué son los “niveles guía” de calidad del agua?

Son los contenidos de referencia que establecen organismos gubernamentales y no gubernamentales para diferentes parámetros del agua con relación a un uso específico. Por ejemplo, en nuestro país se utiliza como referencia el Código Alimentario Argentino (CAA) que establece los contenidos máximos permitidos de diferentes sustancias en el agua bebida.

Figura 1. Desembocadura del arroyo La Cañada en el río Suquía, en el centro de la ciudad de Córdoba. La Cañada recibe a lo largo de su curso las aguas de desagües pluviales y efluentes domiciliarios de parte de la ciudad. Foto: A. Pasquini.

sustancias tóxicas en el ambiente produciendo su contaminación. Así, la contaminación natural es provocada por procesos que ocurren en la naturaleza y que

Un ambiente está contaminado cuando cualquier agente físico, químico o biológico está presente en cantidad suficiente como para causar efectos dañinos, que afecten a la vida, la salud, el bienestar humano, la flora, la fauna o degraden el entorno

vés de efluentes cloacales y desagües pluviales (Figura 1); mediante los residuos de escape de motores; a través del lavado de basurales. Las actividades industriales pueden producir también contaminación a través de vertidos líquidos y sólidos; así como las prácticas agrícolas y mineras. Sin embargo, aunque son menos conocidos, existen procesos naturales que pueden dar origen a contenidos elevados de

introducen contaminantes al ambiente. Por ejemplo, el esparcimiento de cenizas a partir de erupciones volcánicas e incendios naturales provoca contaminación del aire, del agua y de los suelos (Figura 2). Otro mecanismo natural que puede producir contaminación es el conjunto de procesos que alteran las rocas y los sedimentos expuestos en la superficie de la Tierra y que se conoce como “meteorización química”. A través de estos procesos de alteración química se liberan al agua superficial (ríos, lagos) y subterránea (acuíferos) un conjunto de elementos químicos que en altos contenidos producen el deterioro de la “calidad del agua” y pueden tener efectos nocivos para la salud del ambiente y de las personas. Un ejemplo extremo de contaminación natural es lo que se llama drenaje ácido de rocas, responsable de altos contenidos de metales y metaloides potencialmente tóxicos en el agua (foto de portada).



Figura 2. Lago Nahuel Huapi (Bariloche, Río Negro) cubierto por cenizas volcánicas de la erupción del complejo volcánico Puyehue-Cordón Caulle iniciada el 4 de junio de 2011. Foto: P. Temporetti.

Dos ejemplos de contaminantes naturales

33

ARSÉNICO



¿Aliado del arte o agente homicida?
Un villano químico muy antiguo

As

Adaptación del artista Kaycie D. Fuente
<http://kcd-elements.tumblr.com>

El arsénico (As) es un elemento químico que puede definirse como semimetal o metaloide ya que presenta propie-

dades intermedias entre los metales y los no metales. Se halla en la naturaleza en estado nativo (elemental) o combinado en minerales como oropimente, arsenolita, arsenopirita, mimetita y skutterudita, entre muchos otros (Figura 3).

El arsénico elemental no es tóxico, son algunos compuestos de arsénico los que presentan una elevada toxicidad y por esta razón han sido utilizados a lo largo de la historia como un veneno efectivo

El arsénico elemental no es tóxico, son algunos compuestos de arsénico los que presentan una elevada toxicidad y por esta razón han sido utilizados a lo largo de la historia como un veneno efectivo. El óxido de arsénico (III), As_2O_3 , es una sustancia insípida que posee un característico olor a

33,7% Arsénico



Roselita $Ca_2(Co^{2+}, Mg)(AsO_4)_2 \cdot 2H_2O$

15,1% Arsénico



Mimetita $Pb_5(AsO_4)_3Cl$

26,1% Arsénico



Adamina $(ZnCu)_2AsO_4 \cdot HO$

15,1% Arsénico



Eritrina $Co_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$

Figura 3. Minerales que contienen arsénico (As) en sus estructuras cristalinas. Se indica la fórmula química y el porcentaje de arsénico contenido en cada uno. Fotos: F. Colombo.



Figura 4. Hombre mostrando sus manos ampolladas por causa del envenenamiento gradual por arsénico en India. Tomada de <http://www.indiawaterportal.org/articles/arsenic-affected-villages-gets-water-after-two-decades>

Napoleón ¿Envenenado por la familia real francesa o por causas naturales?

Como es bien conocido, Napoleón pasó sus últimos años exiliado en la isla de Santa Helena, en el océano Atlántico. El análisis de sus cabellos, realizado en la década de los 60s, demostró la presencia de altas concentraciones de arsénico. Si bien en un principio se especuló que esto era la consecuencia de un envenenamiento producido por la familia real francesa para evitar su regreso a Francia, en la actualidad se especula que fue el resultado de procesos naturales, a partir del desprendimiento de vapores de arsénico de los pigmentos del empapelado de su habitación.

almendras y era comúnmente usado en la antigüedad para pergeñar asesinatos de parientes, razón por la que se conoce como “polvo de herencia”. Algunas sustancias con arsénico han sido también históricamente utilizadas como pigmento en pinturas, así como para teñir telas y papel. Entre ellos, el llamado “verde de París” es un compuesto de arsénico y cobre (acetarsenito de cobre, $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$ que está presente en muchas obras de arte del siglo XIX.

¿Por qué el arsénico es un contaminante?

El arsénico es un contaminante natural y puede encontrarse en el agua como resultado de la meteorización química de los minerales que lo contienen, es decir, por un proceso que ocurre en la naturaleza, sin la intervención humana. Muchas regiones en el mundo presentan esta problemática. El arsénico se acumula en el organismo por el consumo de

El hidroarsenicismo es una enfermedad ambiental crónica asociada al consumo de aguas contaminadas con arsénico, es endémica en muchas regiones del mundo y en Argentina se lo denomina HACRE: hidroarsenicismo crónico regional endémico

agua de bebida rica en este elemento. Su ingesta prolongada puede causar afecciones en la piel, los músculos y los huesos, así como en los sistemas nervioso, respiratorio y gastrointestinal (Figura 4). La Agencia Internacional de Investigaciones de Cáncer (IARC) lo considera dentro de las sustancias que poseen mayor probabilidad de asociación con el cáncer para el ser humano. El hidroarsenicismo es una enfermedad ambiental crónica asociada al consumo de

aguas contaminadas con arsénico, es endémica en muchas regiones del mundo y en Argentina se lo denomina HACRE: hidroarsenicismo crónico regional endémico. Un caso emblemático de esta afección es lo que ocurre en Bangladesh, donde alrededor de 50 millones de personas han estado expuestas a niveles tóxicos de arsénico en el agua potable. En la actualidad se estima que mueren en ese país, más de 40.000 habitantes por año a causa de afecciones relacionadas con la ingesta de agua contaminada con arsénico.

¿Existe contaminación natural de arsénico en Argentina?

En Argentina se han encontrado altos contenidos naturales de arsénico en aguas de la región central y noroeste del país, de la región andina de Cuyo y de la llanura Chaco-Pampeana, siendo esta última una de las zonas más damnificadas con más de 10 millones de km^2 de superficie

Se estima que más de dos millones de personas en Argentina están potencialmente expuestas a la ingesta de aguas con contenidos de arsénico que superan los niveles guía dados por normativas nacionales e internacionales

3,8% Flúor



Fluorapatita $Ca_5(PO_4)_3(F)$

0,9% Flúor



Muscovita $KAl_3Si_3O_{10}(OH)_{1,8}F_{0,2}$

48,7% Flúor



Fluorita CaF_2

20,1% Flúor



Topacio $Al_2(SiO_4)(F,OH)_2$

Figura 5. Minerales que contienen flúor (F) en sus estructuras cristalinas. Se indica la fórmula química y el porcentaje de flúor en cada uno. Fotos: F. Colombo.

afectados por aguas contaminadas.

El origen del arsénico en las aguas se debe principalmente a la presencia de fragmentos volcánicos en sedimentos loésicos en contacto con reservorios de agua, principalmente subterránea. Se estima que más de dos millones de personas en Argentina están potencialmente expuestas a la ingesta de aguas con contenidos de arsénico que superan los niveles guía dados por normativas nacionales e internacionales. El CAA define un límite máximo de arsénico en agua de bebida de 0,01 mg/L. Aproximadamente un 90% del agua subterránea de la provincia de Córdoba presenta contenidos de arsénico por encima de estos límites.

Enfermedad de Bell Ville

La presencia de elevados contenidos de arsénico en agua así como sus efectos en la salud se conoce en Argentina desde comienzos del siglo XX. Uno de los hechos históricos más emblemáticos es el de la ciudad de Bell Ville en Córdoba. Un elevado número de casos de HACRE en esta ciudad hizo que esta patología se conociera como "enfermedad de Bell Ville" hasta el año 1913, cuando los Dres. Goyenechea y Pusso relacionaron las patologías observadas con el consumo de agua contaminada con arsénico. Años más tarde el Dr. Ayerza la denominó "arsenicismo regional endémico" (1917). Numerosos estudios posteriores pusieron en evidencia que las áreas afectadas por altos contenidos de arsénico en las aguas eran mucho más extensas de lo que se pensaba inicialmente.

En su forma pura el flúor es altamente peligroso, causando graves quemaduras al contacto con la piel, es tan reactivo que puede prender fuego cualquier cosa que toque

9 FLÚOR



¿Sonrisa perfecta o fluorosis esquelética? Un veneno con menos historia

F

Adaptación del artista Kaycie D. Fuente <http://kcd-elements.tumblr.com>

A diferencia del arsénico y de otros elementos, el flúor se conoce como sustancia tóxica desde hace relativamente poco tiempo. El flúor (F) es un elemento químico no metal, halógeno, que tiene propiedades químicas particulares. Es uno de los átomos más pequeños y es el más inquieto de la tabla periódica, ya que reacciona y forma compuestos con

prácticamente todos los otros elementos químicos. En su estado elemental es un gas a temperatura ambiente, de color amarillo pálido, formado por moléculas diatómicas: F_2 . En su forma pura el flúor es altamente peligroso, causando graves quemaduras al contacto con la piel, es tan reactivo que puede prender fuego cualquier cosa que toque.

El flúor se encuentra en alguno de los minerales que forman las rocas. Cuando éstos se alteran por meteorización química, el flúor es liberado y disuelto en el agua. Algunos minerales portadores de flúor son la apatita, fluorapatita, fluorita, biotita, muscovita, topacio, anfíboles (Figura 5). El flúor se libera al agua mediante una reacción química que puede representarse así:

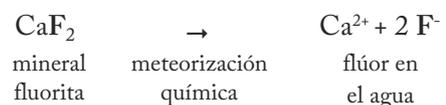




Figura 6. Fluorosis dental severa causada por el consumo de elevados contenidos de flúor. Fuente: <https://openparachute.wordpress.com/2017/09/19/facts-about-fluorosis-not-a-worry-in-new-zealand/>.

¿Por qué el flúor es un contaminante?

En la boca hay bacterias que se combinan con los azúcares de los alimentos y bebidas que se ingieren y forman ácidos, que dañan el esmalte dental formando caries. Es bien conocido que el flúor en dosis adecuadas previene la formación de caries (entre 0,5 y 1 mg/L), ya que favorece el proceso de mineralización de los tejidos duros. Sin embargo, la ingesta prolongada de agua y alimentos, que en conjunto poseen contenidos de flúor superiores a 1 mg/L, da lugar a la aparición de un cuadro clínico denominado fluorosis. Esta enfermedad está caracterizada por dientes moteados en la fluorosis dental (Figura 6) y huesos quebradizos en la fluo-

La ingesta prolongada de agua y alimentos, que en conjunto poseen contenidos de flúor superiores a 1 mg/L, da lugar a la aparición de un cuadro clínico denominado fluorosis

rosis esquelética, pudiendo también afectar a los tejidos blandos y al sistema nervioso. La fluorosis dental es un problema endémico de salud pública que afecta a la población infantil y adolescente de diferentes regiones del mundo.

¿Existe contaminación natural de flúor en Argentina?

Igual que en el caso del arsénico en nuestro país existen regiones con altos contenidos naturales de flúor en aguas. En los acuíferos de la llanura Chaco-Pampeana el flúor tiene su origen en procesos de meteorización química de cenizas volcánicas contenidas en los sedimentos. Se estima que alrededor de 1,2 millones de habitantes de esta región consumen aguas subterráneas con contenidos de flúor que exceden el valor guía establecido por el CAA (de 0,8 a 1,7 mg/L). También se conocen altos contenidos de flúor en ríos y arroyos de regiones montañosas, cuyo origen en este caso se debe a la alteración química de los minerales de rocas graníticas, portadores de flúor. Si bien existe menos información sobre el flúor disuelto en aguas superficiales de regiones serranas, se conocen algunos datos, por ejemplo en las Sierras de Córdoba y en la Sierra de Velasco en la provincia de La Rioja, que producen fluorosis dental en los habitantes de esas regiones.

El arsénico y el flúor son sólo dos ejemplos de contaminación por procesos naturales. Muchos otros elementos químicos como el plomo, el cadmio, el cromo, el selenio y el uranio, también pueden ser incorporados a las aguas por procesos de meteorización química similares a los que liberan arsénico y flúor. Su con-

Envenenamiento por fluoración: ¿Mito o realidad?

Existe una teoría que propone que el agregado de flúor al agua se utilizó para producir envenenamiento intencional masivo. Se ha sugerido que fue utilizado por primera vez en los campos de concentración nazis. El químico Charles Perkins en 1954, afirmó que en los años 30s, los químicos alemanes idearon un plan ingenioso para controlar a la población mediante el envenenamiento de las fuentes de agua potable, por adición de flúor a las mismas. Por este método pretendían controlar la natalidad, induciendo esterilidad en mujeres, siguiendo la filosofía nazi pangermánica. Además, Perkins aseguró que la fluoración del agua provocaba sedación mental de la población.

Curiosamente, el cineasta Stanley Kubrick en su película "Dr. Strangelove" del año 1964, conocida también como "¿Teléfono Rojo?" o "Volamos hacia Moscú", incluyó una escena en la que un general norteamericano, interpretado por Sterling Hayden, habla a su ayudante Mandrake, el actor Peter Sellers, sobre la fluoración del agua y de otros alimentos como parte de un plan de exterminio comunista durante la Guerra Fría.

centración en el agua va a depender de diversos factores como la naturaleza y cantidad de minerales presentes en las rocas y sedimentos en contacto con ella, y la forma en que son liberados, entre otros. Si su contenido en el agua supera los niveles guías, estos elementos son tóxicos y su efecto nocivo

sobre los seres vivos dependerá de la cantidad del contaminante y del tiempo de exposición al que está sometido el ser vivo, que determinará su acumulación en el organismo. En este sentido, los científicos de las Ciencias de la Tierra poseen el conocimiento y las herramientas necesarias

Un caso de fluorosis dental en las Sierras de Córdoba

En Córdoba existen regiones que presentan contenidos elevados de flúor en aguas naturales de ríos, arroyos y acuíferos, que tienen su origen en los minerales de las rocas graníticas de la región, como la fluorapatita. La ciudad de Charbonier y sus alrededores, en el Departamento de Punilla, es un claro ejemplo de una región afectada por fluorosis dental. Los contenidos de flúor en ríos y pozos de la región varían entre 1 y 8 mg/L, siendo el único elemento químico en las aguas que presenta contenidos por encima del nivel guía recomendado. En esta localidad, la ingesta promedio de flúor por día y por individuo (para el año 2008) supera los límites aceptables para consumo humano (del CAA). Para este cálculo, se consideraron todas las fuentes de consumo de este elemento (agua, alimentos, dentífrico, suplementos dietarios). Como resultado de esta ingesta, más del 85% de la población infantil presenta alguna forma de fluorosis dental, desde leve a severa.

para comprender los procesos que generan contaminación natural, así como la posibilidad de predecir diferentes escenarios. De esta manera, pueden brindar valiosa información para una adecuada gestión de los recursos naturales.

RB

Bibliografía/Lecturas sugeridas

Gallará, R.V., Piazza, L.A., Piñas, M.E., Barteik, M.E., Centeno, V.A., Bojanich, M.A., Moncunill, I.A., García, M.G., Lecomte, K., Rozas, C.A., Ponce, R.H. 2017. Fluorosis dental en una zona de Córdoba, Argentina. Desarrollo de estrategias para su prevención. Revista de la Facultad de Odontología. MEDLINE. Volumen 27 (1): 35-43.

García, M.G., Lecomte, K.L., Stupar, Y.V., Formica, S.M., Barrionuevo, M., Vesco, M., Gallará, R., Ponce, R. 2012. Geochemistry and health aspects of F-rich mountainous streams and groundwaters from Sierras Chicas de Córdoba, Argentina. Environmental Earth Sciences. Volumen 65 (2): 535-545

Palacios, S.V., Guglielmino, C.M., Vereá, M.A. y Pecotche, D.M. 2012. HACRE. Hidroarsenicismo Crónico Regional y Endémico. Archivos Argentinos de Dermatología. 62: 233-238.

Villaamil Lepori, 2015. Hidroarsenicismo crónico regional endémico en Argentina. Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana, 49 (1): 83-104.

Organización Mundial de la Salud: <http://www.who.int/topics/water/es/>

G

Glosario

Acuífero: capa permeable de rocas o sedimentos que permite el almacenamiento de agua en espacios subterráneos.

Drenaje ácido de rocas: proceso natural de contaminación ácida de las aguas de una región por la oxidación de minerales sulfurados.

Fluorosis esquelética: discapacidad invalidante producida por ingesta a largo plazo de agua y/o alimentos con altos contenidos de fluoruros (>6 mg por día) que resulta en la acumulación excesiva de flúor en los huesos, provocando cambios en su estructura haciéndolos frágiles y quebradizos.

Halógeno: Proviene del griego hals, "sal" y genes, "origen", significa "que origina sal". Elemento químico altamente reactivo, que forma sales minerales al unirse directamente con un metal.

Meteorización química: Conjunto de procesos químicos que se producen en la superficie de la Tierra o cerca de ella, que provocan la alteración y disgregación de las rocas en contacto con la atmósfera, la biósfera y la hidrósfera.

Sedimentos loésicos: son materiales de grano fino (limos), transportados por el viento y acumulados sobre la superficie terrestre, formando depósitos que pueden alcanzar decenas de metros de espesor.