

El agua

ECOLOGÍA

102

MANUEL
GUERRERO
LEGARRETA



La Ciencia para Todos

En 1984 el Fondo de Cultura Económica concibió el proyecto editorial La Ciencia desde México con el propósito de divulgar el conocimiento científico en español a través de libros breves, con carácter introductorio y un lenguaje claro, accesible y ameno; el objetivo era despertar el interés en la ciencia en un público amplio y, en especial, entre los jóvenes.

Los primeros títulos aparecieron en 1986, y si en un principio la colección se conformó por obras que daban a conocer los trabajos de investigación de científicos radicados en México, diez años más tarde la convocatoria se amplió a todos los países hispanoamericanos y cambió su nombre por el de La Ciencia para Todos.

Con el desarrollo de la colección, el Fondo de Cultura Económica estableció dos certámenes: el concurso de lectoescritura Leamos La Ciencia para Todos, que busca promover la lectura de la colección y el surgimiento de vocaciones entre los estudiantes de educación media, y el Premio Internacional de Divulgación de la Ciencia Ruy Pérez Tamayo, cuyo propósito es incentivar la producción de textos de científicos, periodistas, divulgadores y escritores en general cuyos títulos puedan incorporarse al catálogo de la colección.

Hoy, La Ciencia para Todos y los dos concursos bienales se mantienen y aun buscan crecer, renovarse y actualizarse, con un objetivo aún más ambicioso: hacer de la ciencia parte fundamental de la cultura general de los pueblos hispanoamericanos.

LA CIENCIA PARA TODOS

102

El agua

MANUEL GUERRERO

El agua



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



**FONDO
DE CULTURA
ECONÓMICA**

Primera edición (La Ciencia desde México), 1991
Segunda edición (La Ciencia para Todos), 1998
Tercera edición, 2001
Cuarta edición, 2003
Quinta edición, 2006
Quinta reimpresión, 2018

[Primera edición en libro electrónico, 2012]

Guerrero Legarreta, Manuel

El agua / Manuel Guerrero Legarreta. — 5ª ed. — México : FCE, SEP, Conacyt, 2006

178 p. ilus. ; 21 × 14 cm — (Colec. La Ciencia para Todos ; 102)

Texto para nivel medio superior

ISBN 978-968-16-8011-4

1. Ciencias de la Tierra 2. Agua 3. Recursos naturales I. Ser. II. t.

LC QH541.5 W3

Dewey 508.2 C569 V.102

Distribución mundial

La Ciencia para Todos es proyecto y propiedad del Fondo de Cultura Económica, al que pertenecen también sus derechos. Se publica con los auspicios de la Secretaría de Educación Pública y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

D. R. © 1991, Fondo de Cultura Económica

Carretera Picacho-Ajusco, 227; 14738 Ciudad de México

www.fondodeculturaeconomica.com

Comentarios: editorial@fondodeculturaeconomica.com

Tel.: (55)5227-4672

Diseño de portada: Laura Esponda Aguilar

Imagen de portada: © 2006, JupiterImages Corporation

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, sea cual fuere el medio, sin la anuencia por escrito del titular de los derechos.

ISBN 978-968-16-8011-4 (rústico)

ISBN 978-607-16-0354-8 (electrónico-pdf)

Impreso en México • *Printed in Mexico*

HACE CASI TRECE AÑOS SALIÓ LA PRIMERA EDICIÓN de este libro. Yo no tenía la menor idea de lo que iría a pasar con él; mi más alta expectativa era que se leyeran los 3 000 ejemplares que se tiraron en ese entonces, y eso sería tener muchísimos más lectores de los que jamás habría imaginado.

Ha pasado mucho tiempo y el libro fue leído por jóvenes que en aquel entonces eran unos pequeños de pocos años de edad. El concurso Leamos La Ciencia para Todos ha tenido un éxito extraordinario; ahora está presente, además de en México, en Cuba y Colombia, y he visto con gusto cómo *El agua* ha participado en esos concursos. He recibido los trabajos año con año y en ellos he encontrado la crítica fresca, el señalamiento de aciertos y errores. Varios lectores me señalaron que había sido limitar el alcance de la obra hablar únicamente de los problemas del agua en la Ciudad de México. Otros me han dicho que quedaron muchos temas por tratar.

El Fondo de Cultura Económica me ha invitado a dar pláticas sobre el libro en diversos sitios de México y de Colombia. Fueron estas experiencias invaluable en las que he tenido la oportunidad de escuchar de primera mano las inquietudes de los lectores... y me han enfrentado a preguntas difíciles de contestar.

Comentábamos una vez en el Conalep de El Rosario —un bello pueblecito de Sinaloa, en el noroeste de México— las for-

mas en las que puede cuidarse el agua en un lugar pequeño, a un nivel doméstico. Varios años después me encontré con el director del plantel, José Antonio López, quien me dijo muy satisfecho que sus alumnos habían experimentado varias formas de cuidar al agua y que la conciencia se había transmitido de una generación a otra. En Bogotá tuve la oportunidad de escuchar iguales inquietudes, y de conocer a la maestra Nohora Consuelo Aldana, quien puso en marcha un programa en donde sus alumnos llevan a casa el conocimiento adquirido en clases de ciencias naturales para socializarlo con sus padres; ello, además de haber elevado la autoestima de los estudiantes, estrechó los lazos familiares y condujo a propuestas muy interesantes: haciendo un análisis del consumo de agua en sus hogares, lograron reducirlo en un 38%.¹ En palabras de unos padres de familia: "...confirmamos que las estrategias que fueron utilizadas para el ahorro del agua fresca fueron todo un éxito y también queremos comunicarle [a la Maestra Aldana] que las seguiremos usando para mejorar la economía de la gente que habita esta casa".²

Respecto a las preguntas difíciles, narro esta anécdota. Estaba otra vez en Bogotá ante un auditorio de 600 niños de entre 12 y 15 años de edad; la sesión de preguntas, programada para 30 minutos, duró más de hora y media. Todas las preguntas mostraban la vivacidad de esas mentes, pero hubo una que me puso a temblar: ¿por qué moja el agua?, me dijo una niña de 12 años. Echaron a reír sus compañeros y les dije que nunca me habían preguntado eso, y francamente la respuesta no es para nada sencilla. En la tarde fui a otra escuela en la que un niño de la misma edad me preguntó lo mismo. Por la noche estuve en una reunión del Convenio Andrés Bello, en un elegante lugar, recinto de este programa internacional de alto nivel, con perso-

¹ Memorias del primer concurso Leamos La Ciencia para Todos, Colombia 2002-2004, Fondo de Cultura Económica, Bogotá.

² Nohora Consuelo Aldana, comunicación personal, febrero de 2005.

nas mayores. Cuando comenté mis experiencias de ese día y la soltura con la que los niños preguntan cosas tan difíciles como “¿por qué moja el agua?”, una señora me dijo que ella lo iba a preguntar, pero le dio pena porque le había parecido tonto, y ahora se daba cuenta de que no lo era, y que hace falta la ingenuidad de los niños para que el conocimiento avance.

Mis lectores, la mayoría entre 12 y 19 años, me han hecho ésa y más preguntas, que esta edición revisada pretende recoger y responder. En primer lugar, se ha querido clarificar aquellos aspectos que con más frecuencia me han señalado, por escrito en los trabajos de los concursos, y verbalmente en las pláticas.

Algo que he descubierto en este tiempo es que no basta con meditar sobre qué es el agua, hay que contemplarla en toda la amplitud de nuestro planeta. Es fundamental entender la interdependencia del uso del recurso, adquirir una visión global del agua, para comprender que los abusos que se cometen en un sitio repercuten en otras partes. Ello lleva a hablar un poco de política, pues las soluciones no son solamente técnicas. Estaba en Hermosillo, Sonora, en el noroeste de México, en un programa de radio que tiene la Universidad Tecnológica de allá. Es un lugar de mi país con grandes carencias de agua, aunque con una amplia zona costera. Se debatía sobre un proyecto de suministro de agua con tintes políticos y me preguntaron mi opinión. Sobre el proyecto en particular no quise hablar, pero sí discutimos la implicación que tiene el tema del agua en la política, y creo que esto debe hacerse. Es por ello que decidí incluir estos aspectos delicados pero fundamentales.

En 2001, el Fondo abrió una nueva categoría del concurso para las Universidades Tecnológicas, en la que los jóvenes construyen un prototipo funcional a partir de las ideas que toman de la lectura de uno de los libros de la serie.

Es motivante ver la creatividad de esas mentes, con la que plasman ideas en desarrollos tecnológicos. He visto trabajos sobre la purificación del agua y el aprovechamiento de aguas

pluviales. Recientemente, en Villahermosa, unos grupos consideraron unir sus fuerzas para hacer desarrollos complejos, en donde unos se enfocaban en la tecnología del agua y otros en sistemas de control para mejorar el rendimiento. En todos los trabajos, y en todas las intervenciones de mi joven auditorio, he notado una enorme preocupación por entender más al agua para cuidarla. La Comisión Nacional del Agua marca como una estrategia general para mejorar la administración del recurso la toma de conciencia. Esto existe muy vivamente en la juventud. El libro, las pláticas y los concursos han sido un medio de comunicación para debatir estos temas.

El libro ha sido reestructurado. Los capítulos I y II son iguales a los de la edición anterior, con actualización e inclusión de unos temas. En el capítulo III amplié la historia de cómo ha llegado el agua a las ciudades y cómo se ha desalojado; el tema del agua en la Ciudad de México fue reducido en datos pero he conservado la narración de cómo hemos logrado deteriorar nuestro hábitat y añadido la historia paralela de Bogotá, no sólo porque le tengo un profundo afecto a esa ciudad, sino porque creo que ejemplifica problemas que la Ciudad de México no tiene (como la contaminación del río). El capítulo IV es el que fue más profundamente rehecho: los problemas sobre el agua, como la posesión del recurso, el agua y la salud, y las cuestiones económicas y políticas subyacentes, que me parecen muy importantes, pues el debate sobre el agua va por este lado. Finalmente, el último capítulo, que es nuevo y tiene cierto grado de especulación, pretende hacer ver que el *Universo* está lleno de agua.

Con el propósito de conservar el libro en un tamaño adecuado, eliminé cuadros que no creo que añadan mayor información. A cambio he incluido más referencias como notas a pie de página para que el lector interesado pueda acudir a las fuentes, con las que se remite a mucha más información.

Retomo, pues, el Preludio del libro original para presentar, sin más, a ese maravilloso elemento.

ESCRIBIR UN LIBRO CONSTITUYE toda una aventura que no podría yo poner en palabras (como no sean las del libro mismo).

Primero, se escoge un tema, algo que tenga uno que decir, se medita sobre él y se recoge la información para exponerlo.

El agua: es todo un tema.

De pronto se descubre que existen montañas de ideas y libros y artículos y cosas que uno mismo ha pensado. Luego viene escribirlo, ponerlo en unas páginas blancas que lo miran a uno en forma aterradora.

Pasado el tiempo —mucho tiempo—, los escritos una y otra vez borroneados empiezan a tomar forma. Como la tierra, que al moverse arroja de su seno las piedras, el escrito va adquiriendo figura; sale lo inútil, lo que sobra.

Al terminar —todo debe en algún momento terminarse—, quedan muchas cosas que todavía se antoja decir, pero si no se termina sería cosa de no acabar nunca.

Conocer el agua es amarla; más que de tierra somos de agua, así que conocerla es saber de qué formamos parte. El agua está ahí para nuestro uso, que más bien es abuso por unos y falta de uso por otros.

De lo que trata este trabajo es de la ciencia del agua, un poco más de dónde está y cuánta hay, cómo llega y cómo se va de las ciudades. La lista de los grandes problemas del siglo **xxi** comprende, en los primeros lugares, la calidad del agua y la

cantidad (cada vez más menguante) que está disponible para mantener nuestra biosfera. Éste es el principal cambio respecto a la edición anterior, pues quiero que el lector se quede con una idea tan clara como sea posible. El libro está escrito para comprender al agua, así que me he preocupado más por las descripciones y las ilustraciones que por otra cosa: ni es completo ni es profundo, no pretendo llenar de datos al lector sino despertar su sentido crítico hacia ella y motivarle a seguir leyendo.

Empiezo, pues, con el agua.

I. El agua, ¿qué cosa es?

agua (del latín *aqua*); femenino.

1. f. Sustancia cuyas moléculas están formadas por la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, inodora, insípida e incolora. Es el componente más abundante de la superficie terrestre y, más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales.

2. f. Licor que se obtiene por infusión, disolución o emulsión de flores, plantas o frutos, y se usa en medicina y perfumería. *Agua de azahar, de Colonia, de heliotropo, de la reina de Hungría, de rosas.*

(*Diccionario de la Real Academia Española*, avance de la 23ª edición, 2004.)¹

Siguen 104 referencias² a otros tantos vocablos del diccionario que aparecen en conjunción con la palabra agua. También varios matices idiomáticos relacionados con el agua y expresiones que la invocan, por ejemplo: “¡agua va!” (o, más reciente-

¹ Puede consultarse en Internet: <http://buscon.rae.es/diccionario/drae.htm>

² En la primera versión del libro citaba 52 referencias; en estos años en el diccionario se han recogido otras tantas, muestra del aumento del interés por el tema.

mente, “aguas”), con la que se avisaba a los transeúntes cuando desde alguna casa iban a echar a la calle agua o inmundicias.

Otras expresiones, divertidas y sabias, son “ahogarse en un vaso de agua” (afligirse por motivos triviales), “coger el agua en un cesto” (trabajar en vano), “caer como el agua de mayo” (ser bien recibido), “echar agua al vino” (dulcificar la actitud), o “más agua a los frijoles” (para que alcancen), “echar un jarro de agua fría” (desalentar), “estar con el agua al cuello” (sumamente apurado), “hacérsele a uno agua la boca” (ante algo delicioso), “llevar toda el agua a su molinito” (una persona que todo lo usufructúa en su provecho), “más claro que el agua” (algo evidente), “nadar (o navegar) entre dos aguas” (contemporizar con dos opiniones o tendencias opuestas), “parecerse como dos gotas de agua” (ser idénticos), etcétera.

Aquí no se trata de ampliar el conocimiento lexicográfico arriba resumido, cosa por otro lado para mí imposible de hacer, pues pocos temas me vienen a la cabeza sobre los que más pueda escribirse. Además, no soy un experto ni con ese espíritu emprendí este trabajo. Mi propósito es poner al alcance del lector una información que se antoja comunicar: el agua es el elemento más maravilloso que conozco y, con un poco de las varias cosas que diré, espero despertar su curiosidad para investigar aún más sobre este fascinante campo.

Tales de Mileto, el filósofo griego del siglo VI a.C., afirmó que el agua era la sustancia original, de la cual todas las demás (tierra, aire y fuego) estaban formadas. Anaximandro, unos años más tarde, y otros filósofos después, concluyeron que más bien hay una cierta proporción de fuego, aire, tierra y agua en el mundo, que cada uno lucha por extender su imperio y que se presenta la necesidad natural de restablecer el equilibrio. La consideración de Tales lleva mucha verdad en el sentido de que en todo hay agua; de hecho, Isaac Newton, en el siglo XVII, escribió su tratado *De Natura Acidorum*, en donde sostenía que todo cuerpo podría ser reducido a agua.

En el agua se originó la vida y de ella sigue dependiendo. Esto, por cierto, sucede porque el agua es una sustancia completamente fuera de lo común: es líquida en condiciones normales, cuando “debería” ser gaseosa, y su forma sólida flota sobre su forma líquida, cuando “debería” ser al revés; su forma líquida semeja más un sólido que un líquido ordinario. Cuando se congela se forma el hielo, o mejor dicho, alguno de los hielos, pues hay nueve distintos. ¡Vaya lío!

Con la excepción de productos exóticos, el agua es el mejor disolvente que existe (de sólidos, de líquidos y de gases). Si el agua no fuere así no podría sustentar la vida, pues gracias a esta propiedad conduce los nutrientes a los seres vivos y elimina sus desechos; además, lleva el oxígeno a los seres acuáticos.

El 71% de la superficie de nuestro planeta está cubierto por ella; millones de toneladas, en forma de vapor, flotan en la atmósfera y sin embargo grandes regiones terrestres carecen de ella.

Los seres vivos moran inmersos en el agua o en el aire. En su interior son, en gran medida, agua: en el agua se originó la vida y de ella sigue dependiendo.

La enorme presión de la actividad humana sobre la disponibilidad de este recurso en los asentamientos humanos, los centros industriales y los turísticos, y en las zonas agrícolas, exige de un gran esfuerzo para proveerla en la cantidad y con la calidad adecuada. El consecuente problema de las aguas residuales es de magnitud comparable.

¿Qué es el agua?, ¿cómo existe en la naturaleza y cómo es utilizada por los seres vivos? ¿Cómo llega y cómo sale de las ciudades? Conocer este elemento es necesario para apreciarlo, conservarlo y no deteriorarlo.

Es por las propiedades del agua, en particular por su gran capacidad de disolver otras sustancias, que es tan fácil maltratarla... hacerla inservible para la vida.

Para iniciar nuestra exploración y descubrir sus curiosidades debemos tomar un poco de agua y jugar con ella.

I.1. ALGUNOS EXPERIMENTOS PARA CONOCERLA

El agua existe en nuestro mundo en tres formas: sólida, líquida y gaseosa. Un elemento tan importante para la vida merece un nombre para cada presentación: el sólido es el “hielo”; el líquido es “agua”, así, nada más; y el gas es “vapor”, aunque las tres formas son químicamente la misma cosa.

En la naturaleza existe un cambio continuo entre cada forma (o “fase”, como se le llama científicamente) del agua. Cuando llueve, el vapor se precipita en forma de líquido y cuando



a)

FIGURA I.1. a) *El hielo exhibe las líneas trazadas por el gas que escapa en el proceso de solidificación.* b) *El vapor atmosférico se condensa en las mañanas sobre las superficies frías, como el cristal de un automóvil.* c) *El líquido se evapora al dar los rayos del Sol sobre el tejado húmedo.*
Las tres formas del agua están presentes en nuestra vida diaria.



b)

c)

