

- Colectores convencionales. Son colectores sumamente simples que captan el agua de lluvia junto con los polvos atmosféricos y consisten de un embudo acoplado a una botella, la cual se encuentra sostenida por una base de metal.
- Colectores automáticos. Son instrumentos encargados de coleccionar el agua de lluvia (depósito húmedo) y los polvos (depósito seco) por separado. Estos colectores tienen cuatro componentes principales: un sensor capaz de detectar el inicio y fin de un evento de lluvia; un mecanismo que permite mover el techo de dos aguas en respuesta al sensor; un techo de dos aguas móvil para tapar y sellar las cubetas, y un par de cubetas colectoras, una para el agua de lluvia y otra para el polvo.
- Pluviómetros.

Los resultados obtenidos por el Programa de Precipitaciones Ácidas en la ZMCM son los siguientes: el valor mínimo histórico de pH registrado por el programa se obtuvo en 1997 con un valor de 3.38, el cual corresponde a una acidez 10 veces menor que la del jugo de limón. Este valor es 9.5 veces menos ácido que el registrado en Escocia en 1974 (pH 2.74) o 4.8 veces menos ácido que el detectado en Sao Paulo, Brasil, en un estudio realizado de 1983 a 1985 (pH 2.7). Desde entonces se han registrado con mayor periodicidad eventos de lluvia ácida en aquellos sitios que se localizan en la zona suroeste de la ciudad. Los datos obtenidos por el programa han mostrado que el problema de la lluvia ácida se presenta con mayor frecuencia e intensidad en la zona suroeste de la ciudad, debido a las condiciones meteorológicas, principalmente la dirección de los vientos que ocasionan el transporte de los contaminantes hacia esa zona. Esto es importante, ya que ahí se encuentran áreas boscosas, además de 36 000 hectáreas de tierras de cultivo y 25 subcuencas que son importantes en la recarga de los mantos acuíferos de la ciudad.

Con los promedios ponderados del pH del agua de lluvia, obtenidos en 1998 en cada uno de los sitios de monitoreo, se ob-

tuvo mensualmente la distribución espacial. Septiembre fue el mes en el que se detectó la mayor cantidad de eventos de lluvia ácida (44 eventos).

Entre las medidas que se han tomado para reducir la emisión de los contaminantes precursores de este problema en el D.F. están las siguientes: se redujo el nivel máximo de azufre en diferentes combustibles, se cerró la refinera 18 de marzo; se ha impulsado el uso de gas natural en diversas industrias; se introdujo el convertidor catalítico de tres vías a partir de 1991 y la conversión a gas en vehículos de empresas mercantiles y gubernamentales; se amplió el sistema de transporte eléctrico; continuó el programa "Hoy no circula", y se instalaron equipos de control en distintos establecimientos.

IV. Actividades

1. Combinar la lectura de este artículo y el de "Lluvia ácida" de Jesús Valdés, publicado en el No. 1 de *¿Cómo ves?* Iniciar un debate sobre qué tan seguro es hacer acopio de agua de lluvia en la Ciudad de México y las medidas que deben tomarse antes de hacer uso de la misma.
2. Hacer una búsqueda en Internet sobre distintos tipos de colectores pluviales y hacer pruebas de los mismos en la escuela o en los hogares. Diseñar sistemas de monitoreo físico, químico y biológico del agua colectada (se puede recurrir a compañías que distribuyen este tipo de pruebas, como Análisis y Soluciones Ambientales S.A. de C.V., cuyo correo electrónico es ansam1@prodigy.net.mx).

V. Bibliografía

<http://mingaonline.uach.cl/sciolo.php>
<http://simat>

Los profesores pueden copiar esta guía para su uso en clase. Para cualquier otro uso es necesaria la autorización por escrito del editor de la revista.

Lluvia lista para beber

De: Aleida Rueda
(No. 91, p. 30)

Maestros:

Esta guía se ha diseñado para que un artículo de cada número de *¿Cómo ves?* pueda trabajarse en clase con los alumnos, de modo que se adapte a los programas de ciencias naturales y a los objetivos generales de estas disciplinas a nivel bachillerato. Esperamos que la información y las actividades propuestas sean un atractivo punto de partida o un novedoso "broche de oro" para dar un ingrediente de motivación adicional a sus cursos.

I. Relación con los temarios del bachillerato UNAM

Esta guía y el artículo de referencia pueden utilizarla maestros de geografía, ciencias de la salud, anatomía, biología y, particularmente, de química, ya que la potabilización de aguas requiere de procesos y tratamientos que generalmente se abordan en el bachillerato desde los programas de esta disciplina.

II. El problema del agua en megaciudades desde el punto de vista de la geografía

Las ciudades con altas concentraciones de población tienen un grave impacto en los recursos acuáticos. Es en los espacios urbanos donde se toman las decisiones que finalmente afectarán la conservación de esos recursos, por lo que encontrar un sistema de

mejoramiento del manejo del agua es crucial para la preservación de la vida. Hoy en día 26 países tienen más habitantes de los que sus recursos acuáticos pueden sostener adecuadamente. Una gran tensión se alza sobre la escasez del agua en el Medio Oriente y puede desencadenar un conflicto violento durante esta década. La competencia por el agua se intensifica entre los habitantes de las grandes áreas urbanas (como Pekín, Nueva Delhi, la Ciudad de México) y los del campo.

Impacto de la urbanización en el ciclo hidrológico

La urbanización representa la máxima interferencia humana en el ciclo hidrológico y este impacto se manifiesta de diversas maneras; se crea un nuevo medio ambiente hidrológico, donde el asfalto y el concreto reemplazan al suelo, los edificios a los árboles y los desagües y conductos de agua de lluvia a los canales y cuencas naturales.

Las ciudades, por su parte, son una representación a pequeña escala del efecto invernadero, el cual genera muchas transformaciones en el ciclo hidrológico. Las áreas urbanizadas modifican el clima local presentando superficies extremadamente rugosas, las cuales en contacto con el aire generan movimientos verticales de convección, facilitados especialmente en las áreas de aglutinamiento de edificios. Este efecto combinado de con-

vección térmica forzada está asociado con la gran pérdida de infiltración de las superficies urbanas impermeables. Adicionalmente, esto aumenta el efecto “isla de calor” en el centro urbano, incrementando las precipitaciones en el interior de la ciudad de manera muy significativa en comparación con la región rural aledaña. Las metrópolis tienen mayor precipitación que las áreas circundantes; dependiendo de su extensión, entre un cinco y un 10% más de precipitación, nubosidad y niebla. Así, no es extraño que esta condición climática termine por afectar al ciclo hidrológico en su conjunto.

En la urbe el predominio de masas construidas y su inercia térmica aumentan todavía más la temperatura del medio ambiente urbano respecto al rural. De este proceso deviene la isla de calor que, entre otras cosas, afecta a la línea de precipitación de nieve que se desplaza paulatinamente desde el centro de las ciudades hacia la periferia más alta o con sectores menos densos y con más bajas temperaturas.

Los cambios en la precipitación, por su parte, perturban la fecha de aparición y la magnitud de las inundaciones y las sequías y, al mismo tiempo, producen cambios en los regímenes de las escorrentías y alteran las características de recargas de las aguas subterráneas. Los efectos sinérgicos finalmente afectan la formación de nubes, la vegetación y la humedad del suelo.

Cuando un área se transforma de rural a urbana, el flujo de los cauces también se modifica. El crecimiento de las ciudades altera el flujo de los pequeños canales; el aumento de las superficies urbanas (la construcción de techos, vías vehiculares, etc.) dificulta la infiltración, afectando la evaporación y la evapotranspiración. A consecuencia de esto, gran parte del agua de lluvia cae directamente en el sistema de alcantarillado o colector, impidiendo que la superficie de la ciudad evapore el agua desde el suelo a la atmósfera. En ambientes naturales, en cambio, la evaporación es fundamental en el enfriamiento de las superficies y permite devolver parte del agua al aire, completando el ciclo hidrológico.

Por otra parte, la actividad industrial, el manejo del alcantarillado, la sedimentación y la contaminación en las cuencas de captación, propician la infiltración de materias nocivas y contaminantes en los recursos acuáticos urbanos, lo que puede tener profundos efectos en la calidad del suelo.

La gran cantidad de superficies pavimentadas en las ciudades agudiza asimismo las inundaciones: la capacidad de los canales y colectores de contener la descarga se ve excedida en el momento en que la precipitación es mayor que lo normal. La periodicidad de las inundaciones (incluso en tiempos de lluvia moderada) se incrementa en las urbes debido, principalmente, a la sustitución de la vegetación y del suelo orgánico por carreteras, estacionamientos y edificaciones que desencadenan grandes escurrimientos. En muchas ciudades las inundaciones constituyen un asunto crítico, que afecta la seguridad de los habitantes y sus bienes, por lo que debería ser una preocupación fundamental en la planificación y diseño de los espacios urbanos.

En definitiva, el impacto de la urbanización en el ciclo hidrológico es bastante significativo y la contaminación del agua es su más clara manifestación. Los recursos acuáticos son un componente fundamental del ecosistema urbano; por lo tanto, los problemas de contaminación que afectan al sistema acuático tienen su origen en la ciudad. Los componentes biofísicos del agua, la tierra y la vegetación forman un sistema interactivo fuertemente influenciado por la actividad humana.

Las soluciones

Devolver la salud a los ecosistemas puede ser una estrategia óptima para revertir el daño causado y está al alcance de todas las ciudades. En la actualidad existe una diversidad de alternativas que pueden reducir el impacto de la urbanización sobre los recursos hídricos. Estas alternativas deben implementarse dentro de un manejo integral del agua, introduciendo tecnologías de restauración de la salud de los ecosistemas en las que se consideren las fases de recolección, potabilización, distribución,

consumo, riego, control de escurrimientos, control de inundaciones, acopio de aguas de lluvias, sistemas de depuración, reutilización y/o devolución a cauces naturales y recarga de acuíferos. Al mismo tiempo, es de vital importancia la incorporación de procesos de participación pública de forma que se asegure el compromiso social en el uso racional del agua.

Otro aspecto crucial es el desarrollo de cinturones y vías verdes. Las plantaciones masivas de árboles pueden mejorar la calidad del aire y moderar los climas, especialmente los más extremos. De esta manera se incrementa la capacidad de infiltración y la fijación de partículas y elementos contaminantes en suspensión, reduciendo la evaporación y el escurrimiento superficial. La plantación de árboles en las ciudades y los suburbios se justifica no sólo por su valor estético, también por su contribución a la reducción de costos en enfriamiento, absorción de contaminantes o como barreras de viento y ruido. Para el reverdecimiento integral de una ciudad, también debe apoyarse la agricultura urbana, la cual puede ser integrada con su disposición como espacio abierto y para la reutilización del agua de lluvia (pre-tratada), además de servir como aporte fundamental para mejorar la dieta y calidad de vida de grupos de bajos ingresos en muchos centros urbanos.

Hay muchas maneras de combinar el mejoramiento del medio ambiente urbano con la reducción de peligros ambientales. Por ejemplo, la disposición de cuerpos acuáticos en parques y la protección de humedales

pueden ser integradas dentro de sistemas para el tratamiento de las aguas de lluvia y para la reducción del riesgo de inundaciones o para limitar sus daños. En las áreas urbanas hay una tendencia a las inundaciones y la erosión, la cual puede verse como una consecuencia de las grandes áreas de pavimento impermeable. Esto además de que las velocidades de descarga son también más altas que en condiciones naturales.

III. La lluvia desde el punto de vista de la química

En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México el estudio de la lluvia ácida se inició en 1987. Desde entonces se efectúan mediciones de la acidez del agua de lluvia y de los parámetros químicos: conductancia específica, sulfatos, nitratos, calcio, potasio y magnesio, que son los que tienen mayor representatividad en la química del agua de lluvia y son vigilados alrededor del mundo por las diferentes redes de monitoreo de lluvia ácida.

Además de analizar el agua de lluvia, también se estudian los polvos que se depositan en las superficies y que contienen sustancias que provienen tanto de fuentes naturales como de la actividad humana. Estos polvos reciben el nombre de depósito seco y en ellos se ha encontrado calcio, fierro, titanio, estroncio, zinc, rubidio, plomo, cobre, silicio, aluminio, potasio y manganeso. Algunos de éstos son elementos tóxicos, geoquímicamente móviles y bioacumulables en el ambiente, por lo que su emisión debe ser reducida o eliminada. Asimismo, se analizan algunos elementos biológicos presentes en el agua de lluvia como algas, hongos y quistes, que pueden modificar la composición del agua de lluvia y presentar riesgos para la salud humana. Actualmente se realizan muestreos semanales del agua de lluvia en 16 sitios del Valle de México que abarcan zonas urbanas, agrícolas y de conservación ecológica.

La infraestructura del Programa de Precipitaciones Ácidas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) está constituida por:

