

Aplicación de un método sencillo para medir la contaminación atmosférica: una experiencia comunitaria hecha en Costa Rica

Julián Monge-Nájera

Víctor Hugo Méndez-Estrada

Marta Rivas Rossi

CEMPA y Dirección de Producción Académica, Universidad Estatal a Distancia.
Apartado 474-2050 S. Pedro MO, San José, Costa Rica; jmonge@uned.ac.cr,
vmendez@uned.ac.cr, mrivas@uned.ac.cr

RESUMEN

La contaminación atmosférica es un problema creciente no solo en las zonas urbanas de América Latina, sino también en las zonas rurales que sufren cada vez más los efectos de contaminación local y de contaminación transportada desde zonas urbanas. El monitoreo del estado atmosférico se hace en América Latina mediante complejos equipos electrónicos que son de alto costo, tanto en la adquisición como en su mantenimiento. Por ello, casi no se aplica y solo existe en una fracción minúscula de los ambientes afectados. Existe sin embargo un medio barato, ampliamente disponible y que puede ser aplicado por el ciudadano común: la bioindicación. En este trabajo se describen varias experiencias con estudiantes de escuela secundaria y cursos básicos de la universidad, quienes aplicaron el método para evaluar la salud atmosférica de sus comunidades.

INTRODUCCIÓN

La contaminación atmosférica es un problema creciente en todo el mundo y existe preocupación por sus efectos sobre la salud humana, especialmente de niñas y niños, personas ancianas y pacientes en estado de convalecencia (OMS 1999). En América

Latina, el problema se ha vuelto tan grave que ya no solo afecta a las grandes zonas urbanas, sino que también en las zonas rurales se ha detectado el problema, en buena parte porque la circulación atmosférica distribuye los contaminantes por grandes áreas, así como por efecto de industrias locales (UNEP 2000).

El monitoreo del estado atmosférico se hace en América Latina en general y en Mesoamérica en particular, mediante complejos equipos electrónicos que son de alto costo, tanto en la adquisición como en su mantenimiento, por lo que en general están fuera del alcance de municipalidades, asociaciones comunales y otros entes que son los naturalmente interesados en conocer el estado del aire que se respira. Sin embargo, incluso en lugares como Europa, donde las limitaciones económicas no son tan graves, estos métodos son reconocidos como complementarios, debido a que sus mediciones son puntuales y de naturaleza puramente química, sin indicación directa del efecto sobre la condición del ecosistema y la salud de sus habitantes.

Por ello, en Europa se prefiere la bioindicación, un método muy barato y ampliamente disponible, ya que la naturaleza ya ha instalado centenares de miles de bioindicadores por todo el planeta. Una ventaja adicional y tal vez la más importante de la bioindicación es que puede ser aplicado por el ciudadano común tras un breve entrenamiento (Monge-Nájera y otros 2002a, 2002b).

En este trabajo se describe un método que ha sido aplicado exitosamente con varios grupos de estudiantes de escuela secundaria y cursos básicos de la universidad, quienes lo aplicaron para evaluar la salud atmosférica de sus comunidades.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para medir la cobertura de líquenes se consideran aquellos árboles que no presentan evidencias de actividad humana como encalado, pintura, cubiertas de papel, tratamiento con plaguicidas; o daños causados por animales. En el lado en que se ve más cobertura de líquenes en cada árbol se mide el total de líquenes que quedan bajo 100 puntos ubicados al azar en una plantilla transparente de 10 X 20 cm. La plantilla se coloca 1,60 m sobre el nivel del suelo. Es importante que los estudiantes cuenten al inicio con la guía del docente, para que aprendan a distinguir los líquenes foliosos del

resto de las plantas que pueden crecer en el tronco. Es preferible usar varios árboles por sitio y emplear la cobertura promedio.

Aparte del procedimiento arriba descrito y que se aplicó con los estudiantes (ver apartado siguiente), se comparó tres métodos para la medición de cobertura de líquenes en el campo (ciudad de San José, Costa Rica) y en simulaciones de laboratorio: (1) la plantilla de 100 cuadrados uniformes usada en América del Norte, (2) la plantilla europea de 200 puntos distribuidos uniformemente y (3) una nueva plantilla generada por computadora que consta de puntos aleatoriamente ubicados en un rectángulo de 10 X 20 cm, en dos versiones: 100 puntos y 50 puntos.

Aplicación del método con estudiantes

El uso de bioindicadores por parte de estudiantes y otros ciudadanos, para evaluar la salud atmosférica de sus comunidades, requiere ser validado desde dos puntos de vista: que el método en sí sea confiable, y que las personas no especializadas puedan aplicarlo correctamente. El primer punto queda validado porque los estudios hechos desde 1976 en Costa Rica han permitido determinar que los líquenes actúan como indicadores de la contaminación atmosférica también en las condiciones tropicales propias de América Latina (Méndez y Fournier, 1980; Monge-Nájera y otros, 1999), que de hecho es una de las regiones más antiguas del mundo en que se ha usado esta técnica (medio siglo).

El segundo punto se puso a prueba entrenando a estudiantes de tres grupos colegiales y un grupo universitario. El entrenamiento consistió en una charla de 15 minutos sobre el método y la bioindicación, la entrega de una plantilla y la prueba en el campo, supervisada la primera vez por el investigador, de que cada estudiante supo (1) distinguir los líquenes foliosos de otros organismos que se hallan en los troncos de los árboles, y (2) de que pudo hacer correctamente el conteo de cuantos puntos tenían debajo un líquen folioso.

RESULTADOS

Las experiencias de la técnica con estudiantes del Liceo Laboratorio, del Colegio

Calazans y de la Universidad de Costa Rica fueron satisfactorias, pues en todos los casos los estudiantes comprendieron la técnica y la usaron con éxito. Solamente en unos pocos casos resultó necesario repetirles el procedimiento en el campo para que lograran ejecutarlo correctamente. Hemos corroborado que la técnica es perfectamente comprensible y aplicable para los estudiantes y sus docentes a ese nivel. Aunque desconocemos experiencias a nivel de educación primaria, la técnica es tan sencilla que se justifica ponerla a prueba también con estudiantes de ese nivel (llamado Primer Ciclo en Costa Rica).

Los errores debidos al observador o a la plantilla son de 0.2-14 %, según se describe con detalle en otro informe (Monge-Nájera y otros 2002a). Para estudios ecológicos se recomienda por su precisión la plantilla de 100 puntos aleatorios aplicada a los cuatro puntos cardinales del tronco. Para el monitoreo de contaminación por parte de estudiantes y otras personas no profesionales en bioindicación, la de 50 puntos aleatorios aplicada al lado con mayor cobertura porque produce resultados semejantes a los métodos tradicionales pero reduce tiempo y costo a la mitad (Monge-Nájera y otros 2002a, 2002b).

Resultados del monitoreo la ciudad de San José a lo largo de 20 años

Monge-Nájera y otros (1999) presentaron el resultado de 20 años de investigación sobre la cobertura de los líquenes en los árboles de once regiones de San José. Nosotros hemos utilizado esos datos para calcular la cobertura liquenológica (Cuadro 1) y la de contaminación atmosférica, que es el dato de mayor interés desde el punto de vista del ciudadano común en general y del estudiante en particular.

CUADRO 1
 PORCENTAJE DE COBERTURA DE LÍQUENES POR AÑO EN ONCE REGIONES
 DE SAN JOSÉ, 1998.

REGIÓN MUESTREADA	Cobertura por año (%)			
	1976	1986	1990	1998
Universidad de Costa Rica	44	18	23	44
Barrio San Bosco (a. 4 y 8, c. 28)	26	2	9	50
Estación ferrocarril al Atlántico	24	32	10	21
Parque Nacional	21	13	16	33
Bo. González Lahmann	24	15	18	21
Biblioteca Nacional	20	4	11	43
Barrio Otoya	39	5	5	7
Bo. San Bosco (a. 4, c. 28-32)	38	4	1	10
Fábrica Nacional de Licores	1	1	4	6
Los Yoses	1	1	2	6
Paseo Colón	4	0	0	0

Fuente. Observación directa, 1998.

La zona de San José más contaminada es el Paseo Colón, donde después de 1976 no hay ninguna cobertura de líquenes y el índice de contaminación es máximo ("nivel de desierto liquenológico"). Tal resultado coincide con lo informado por Méndez y Fournier (1980), quienes además encontraron alta contaminación en las estaciones del Barrio Los Yoses y de la antigua Fábrica Nacional de Licores. Esto es fácilmente explicable, pues es la región empleada por la flota de transporte público y particular para tener acceso a la ciudad capital desde la región occidental. De acuerdo con datos del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, MOPT (1998) en 1976 en el Paseo Colón circulaban 25 615 vehículos por día, valor

que subió a 28 740 en 1986.

La zona menos contaminada corresponde a la Universidad de Costa Rica, que junto con los barrios Otoya y Don Bosco tenían valores bajos de contaminación en 1976 (Méndez y Fournier, 1980). Diez años después, los valores del plomo en los líquenes resultaron altos en Don Bosco y González Lahmann, y los de cobre eran altos en González Lahmann y Otoya (Fournier, 1993). Posiblemente la baja contaminación en la Universidad de Costa Rica se deba a la poca afluencia de vehículos dentro de la ciudad universitaria. Hay condiciones intermedias en el Paseo Colón y en los alrededores de la antigua Fábrica Nacional de Licores, que es otra de las rutas que utiliza la flota automotor para comunicar los populosos barrios aledaños de Guadalupe y Moravia, con San José. Según el MOPT (1998) la ruta de Guadalupe-Coronado era recorrida en 1976 por 18 383 vehículos diarios, valor que en 1986 subió a 26 500 y en 1990 bajó un poco a 24 270 vehículos por día.

Una disminución en el índice de contaminación coincide con las nuevas políticas de RECOPE tomadas a partir de 1994, las cuales promueven investigaciones científicas para medir el nivel de contaminación atmosférica que provocan los productos que la empresa distribuye. Haciendo el balance general de la tendencia a lo largo del periodo de 20 años considerado por Monge-Nájera et al. (1999), concluimos que con excepción del Paseo Colón, la contaminación atmosférica ha disminuido. Sin embargo, esto de ninguna manera implica que la atmósfera de la ciudad de San José cumple con las normas de la Organización Mundial de la Salud. De hecho estudios independientes muestran que aún con el estado actual de cobertura de líquenes (cuadro 1), la ciudad de San José incumple los parámetros mínimos para una buena salud de sus habitantes (Ramírez, 1999).

DISCUSIÓN

Uso de bioindicadores por parte de estudiantes

Dado que todas las experiencias con estos bioindicadores dieron buen resultado, se sugiere probar en otras comunidades y en el caso de estudiantes, usar como guía de interpretación alguna de estas dos opciones:

a) Comparar la cobertura en el lugar estudiado (ejemplo, calles aledañas a la escuela) con la cobertura en un área rural (con atmósfera relativamente limpia), de clima parecido y no muy lejana de la escuela. De esta forma, será sencillo descubrir si la comunidad en cuestión está igual, mejor o peor que una zona relativamente poco contaminada.

b) Usar una escala ya construída si está disponible para la región; por ejemplo, la escala para la ciudad de San José es: cobertura mayor del 30% atmósfera aceptable, de 20 a 29% contaminación leve, de 10 a 19% contaminación alta y menos de 10% contaminación grave.

Se recomienda aprovechar la experiencia para enseñar el Método Científico, indicando a los estudiantes que éste se basa en la secuencia (1) hipótesis, (2) toma de datos, (3) comparación de resultados con la predicción de la hipótesis. Los estudiantes pueden aprender a usar el método para el importante monitoreo del estado sanitario de la atmósfera que se respira en su comunidad, proponiendo por ejemplo 1) la hipótesis de que la atmósfera en las calles aledañas a su escuela está libre de contaminantes químicos, debido a que se encuentra una cobertura alta de líquenes, 2) midiendo la cobertura de líquenes con la plantilla y 3) revisando si la hipótesis se rechaza. Sin embargo, no se deben detener allí, pues en el caso probable de que la hipótesis sea rechazada, deben además tomar medidas para disminuir la contaminación que les está afectando en su salud y otros aspectos de su calidad de vida.

Tráfico vehicular, contaminación y salud

El número de vehículos automotores aumenta cerca de un 7% anual en Costa Rica, superando en 1997 el medio millón (www.infoweb.co.cr/mopt/c4.html), lo cual es un valor relativamente alto para una población cercana a los cuatro millones (un vehículo por cada ocho habitantes). Estos circulan por las estrechas y congestionadas vías, aumentando las descargas de agentes contaminantes como el monóxido de carbono, el dióxido de azufre y el plomo, que son recibidos por la atmósfera. Estas sustancias ocasionan daños muchas veces irreparables, en los ecosistemas y en la calidad de vida de los habitantes (Avendaño, 1986; Monge-Nájera, 1994, 1996); llegan por ingestión o inhalación a la sangre de los humanos, almacenándose en los tejidos y en órganos como los riñones, la médula ósea, los pulmones y cerebro, donde provocan -especialmente en los niños- retardo en la calidad del aprendizaje, nefropatías (problemas en el riñón), cólicos abdominales, anemias, problemas neurológicos y reproductivos (Ander-Egg, 1984; Monge-Nájera 1990; Moreno, s.f.).

El plomo puede llegar a producir en el ser humano problemas oculares, retardo en la capacidad de aprendizaje de los niños, alteraciones en el sistema nervioso y respiratorio. El dióxido de azufre agrava las enfermedades del aparato respiratorio y el monóxido de carbono también provoca alteraciones broncopulmonares. Entre las principales enfermedades, atribuidas a la contaminación del aire están la bronquitis, asma, efisema, cáncer de pulmón, además los contaminantes atmosféricos provocan que los pulmones pierdan elasticidad y disminuyan su capacidad pulmonar, provocándose la pérdida o disminución de la capacidad respiratoria (Alfaro, 1998; Monge-Nájera, 1990, Moreno, s.f.).

Estas descargas de agentes contaminantes a la atmósfera atentan contra los principios del desarrollo sostenible que promueven los políticos. Uno de los principios del desarrollo sostenible establece que el ser humano debe cuidar los recursos que la naturaleza proporciona para el logro de una mejor calidad de vida para todos. Esto Implica obtener de ellos los bienes y servicios que le permitan a los actuales habitantes

satisfacer sus necesidades, sin que se comprometan los requerimientos de las generaciones que vienen después de nosotros (Monge-Nájera, 1994; Méndez, 1995). De acuerdo con este principio todos los ciudadanos estamos obligados a velar porque los actuales recursos permanezcan inalterables, de manera que se garantice un espacio para cada ser vivo en este planeta. ¿Pero cómo lograr esa armonía si se están incrementando las constantes descargas de agentes tóxicos que van a dar a la atmósfera?

Durante muchos años la producción de combustibles para uso automotor, procesado por la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), contribuyó a contaminar la atmósfera, debido a que los productos derivados del petróleo que procesaba contenían sustancias tóxicas, como los mencionados anteriormente, que al acumularse en el aire, suelo, agua, follaje de las plantas y en el polvo, deterioraban la calidad de los ecosistemas y la salud de los ciudadanos (Moreno, s.f.).

RECOPE puso en el mercado el 24 de octubre de 1994 la *gasolina super eco oxigenada*, la cual reduce los hidrocarburos sin quemar y los óxidos de nitrógeno. Para 1996 se eliminó el plomo de las gasolinas, reduciéndose su concentración en el ambiente en un 45% y, en la sangre de los niños estudiados, en un 74%. Para 1997 los niveles promedio de azufre en el diesel se redujeron a un 0,32% (RECOPE, 1998).

Desde 1993 se realizan evaluaciones que miden la concentración de plomo en la atmósfera. Antes de 1996 el centro de San José presentaba un promedio anual de 0,73 ug/m³, ya para 1996 ese promedio disminuyó hasta 0,09 ug/m³, atribuyéndose dicha reducción a la introducción en el mercado de la *gasolina super eco (super sin plomo)* (RECOPE, 1998). En 1997 también se logró bajar los niveles de azufre en el diesel llegando a alcanzar un promedio de 0,32%, lo cual permitió calificarlo de acuerdo con las normas internacionales como un producto libre de agentes contaminantes (RECOPE, 1998).

Los líquenes como bioindicadores de la contaminación atmosférica

Las poblaciones de líquenes aumentan o disminuyen su densidad de acuerdo con la presencia de factores adversos en la atmósfera. Cuando la contaminación atmosférica es baja, los líquenes se desarrollan normalmente y es común observarlos viviendo sobre los troncos de los árboles o de las rocas. Cuando esa contaminación es alta, sus poblaciones disminuyen o desaparecen del todo (una reseña histórica breve aparece en el artículo clásico de Méndez y Fournier 1980).

Existen cerca de 25 000 especies de líquenes distribuidos en la naturaleza, donde se localizan desde el Ecuador hasta el Ártico y el Antártico. Son seres vivos compuestos, pues están formados por la asociación de un hongo (reino Fungi), generalmente ascomiceto, con un alga verde o cianobacteria (reino Prokaryotae o Monera) (Curtis y Barnes, 1993; Jansen y Salisbury, 1988). El hongo forma una red que sirve de fijación para las algas filamentosas o unicelulares (una explicación sencilla aparece en Grüniger y Velarde 1985).

De la asociación, el hongo recibe compuestos orgánicos como los carbohidratos, que el alga ha fabricado por el proceso de la fotosíntesis; por su parte parece que el alga recibe las sales minerales provenientes del hongo o de las presentes en las sustancias diluidas. Para realizar esta captación de nutrientes, en el líquen existen diminutos poros por los que atraviesan las sustancias provenientes de esas fuentes. Los líquenes cumplen una función importante en la dinámica de los ecosistemas, pues son los primeros colonizadores de áreas rocosas desnudas, y sus actividades inician el proceso de formación del suelo (Méndez y Fournier, 1980).

Los líquenes son epífitos, o sea, no se desarrollan en el suelo, sino sobre un sustrato como el tronco de un árbol, las rocas o incluso paredes, por lo que dependen totalmente de los nutrientes que transporta el aire para desarrollarse. Son muy resistentes a factores adversos del ambiente, permaneciendo vivos aunque se sequen, no necesitan de ninguna fuente de alimento orgánico. Requieren sólo de luz solar, aire

y algunos minerales que obtienen del sustrato, del aire o del agua. Están adaptados para poder absorber rápidamente sustancias del agua de lluvia, por lo tanto, son susceptibles a los componentes tóxicos transportados por esta, los cuales se acumulan con gran facilidad en sus células vivas (Méndez y Fournier, 1980; Grüninger y Velarde, 1985).

Debido a lo anterior, la presencia o ausencia de líquenes en una región es un elemento natural importante que ofrece información acerca del estado de contaminación de la atmósfera (Méndez y Fournier, 1980; Grüninger y Velarde, 1985, Monge-Nájera y otros, 1999).

Las sustancias tóxicas que se acumulan en los líquenes los obligan a romper sus mecanismos homeostáticos, reduciéndose así su capacidad fotosintética que les permite fabricar sus propios alimentos. ¿Cómo nos damos cuenta de que un líquen ha acumulado esas sustancias tóxicas? Existen formas químicas y visuales que nos permiten determinar el estado de contaminación de la atmósfera. La primera consiste en pulverizar el líquen y someterlo a pruebas químicas. La segunda, una forma sencilla que pueden emplear nuestros estudiantes y docentes, se basa en observar las reacciones metabólicas de los líquenes, que al ir recibiendo los contaminantes reducen los procesos fotosintéticos: 1) el color verde grisáceo característico de los líquenes cambia a blanco, verde claro y amarillo pardo, debido principalmente al efecto secundario del bióxido de azufre, que no permite la formación de los pigmentos necesarios para la fotosíntesis; 2) hay una reducción del tamaño del líquen y 3) se llega en el peor de los casos a su desaparición completa (Méndez y Fournier, 1980).

CONCLUSIÓN

Se espera que la experiencia motive a los profesores para que junto con sus estudiantes utilicen un método sencillo que no requiere de conocimientos de liquenología, pero que permite aplicar el método científico para analizar la contaminación atmosférica de sus ciudades y pueblos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la valiosa ayuda de Luis A. Fournier (Universidad de Costa Rica), María Isabel González (Universidad de Costa Rica), Werner Grüninger (Centro Educativo de Reutlingen, Alemania), Olman Ramírez (Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica) y Sieghard Winkler (Universidad de Ulm, Alemania).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfaro, Ma. del R. **Contaminación del aire. Emisiones vehiculares, situación actual y alternativas.** San José, EUNED, 1998.

Ander-Egg, E. El desafío ecológico. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia, San José, 1984.

Avendaño, A. **Contaminación industrial del aire por plomo.** Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química, San José, Universidad de Costa Rica, 1986.

Curtis, H. y N. Barnes. **Biología.** 5ta. Edición. Buenos Aires, Editorial Médica Panamericana, 1993.

Fournier O., L.A. **Recursos naturales.** San José, Editorial de la Universidad Estatal a Distancia, 1993.

Grüninger, W. y M. Velarde. Investigación de líquenes como indicadores de la contaminación y su aprovechamiento en la educación ambiental. En **Revista Científica**. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Instituto de Y nvestigaciones químicas y Biológicas, Universidad de Guatemala, Vol. 7.1 (1985): 34-41.

Jansen, W. y F. Salisbury. **Botánica**. 2da. Edición. México, McGraw-Hill, 1988.

Méndez, O. y L.A. Fournier. Los líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de San José, Costa Rica. En **Revista de Biología Tropical**. Vol. 28 (1980): 31-39.

Méndez-Estrata, Víctor. Influencia de la investigación universitaria, referida al desarrollo sostenible, en la actividad académica de la Universidad de Costa Rica. Tesis de M.Sc. en Educación, San José, Universidad de Costa Rica, 1995.

Ministerio de Obras Públicas y Transportes. **Tránsito Promedio Diario**. Asesoría de Planificación, Medios de Transporte. San José, 1998.

Monge-Nájera, J. **Introducción al estudio de la naturaleza. una visión desde el trópico**. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia, San José, 1990.

Monge-Nájera, J. **Desarrollo sostenible en Costa Rica: Historia y caricaturas**. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia, San José, 1994.

Monge-Nájera, J. **Ecología: Una introducción práctica**. Editorial de la Universidad de Costa Rica, 1996.

Monge-Nájera, J., · María I. González, Marta Rivas Rossi y Víctor Hugo Méndez-Estrada. 2002. Twenty years of lichen cover change in a tropical habitat (Costa Rica)

and its relation with air pollution. Rev. Biol. Trop. 50 (1):_____.

Monge-Nájera, J., · María I. González, Marta Rivas Rossi y Víctor Hugo Méndez-Estrada. 2002. A new method to assess air pollution using lichens as bioindicators. Rev. Biol. Trop. 50 (1):_____.

Moreno, N. El plomo. En RECOPE. **Reducción de la contaminación del aire en Costa Rica. Caso del plomo.** San José, s.f.

OMS (Organización Mundial de la Salud). 1999. Guidelines for Air Quality. Ginebra, Suiza.

Ramírez, A. Estudio rrevela alta contaminación de aire. San José también se ahoga. **En La Nación.** San José, Costa Rica. Domingo 27 de junio de 1999: 4-5 A.

Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE). Un nuevo rumbo ambiental 1994-1998. San José, Refinadora Costarricense de Petróleo, San José, Costa Rica.

UNEP (United Nations Environmental Programme). 2000. GEO Latin America and the Caribbean. UNEP, México, D.F., México.