

# LOS LÍQUENES COMO BIOINDICADORES Y SU USO POR PARTE DE ESTUDIANTES PARA MONITOREAR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

Víctor Hugo Méndez-Estrada<sup>20</sup>

Marta Rivas Rossi<sup>20</sup>

Julián Monge-Nájera<sup>20</sup>

## INTRODUCCIÓN

### 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](http://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 el 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 bronquitis, asma, enfisema, 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.).

---

<sup>20</sup> Centro de Investigación Académica (CIAC), Universidad Estatal a Distancia. Apartado 474- 2050 San Pedro Montes de Oca, San José, Costa Rica. Fax (506) 2534990. [Umande.vahotmalLcom](mailto:Umande.vahotmalLcom) [julianm@cariari.ucr.ac.cr](mailto:julianm@cariari.ucr.ac.cr)

Estas descargas de agentes contaminantes a la atmósfera atentan contra los principios del desarrollo sostenible que promueven los políticos. Uno de estos principios 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, consciente de esta problemática, inició un proceso de modernización en sus actividades y estableció políticas tendientes a mejorar la calidad de sus productos, con el propósito de contribuir a la protección del ambiente (RECOPE, 1998). Uno de los principales logros fue poner al 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 logra eliminar el plomo de la gasolina, reduciéndose su concentración en el ambiente en 45% y, en la sangre de los niños estudiados, en 74% (RECOPE, 1998). Para 1997 los niveles promedio de azufre en el diesel se redujeron a 0,32%.

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  $0,73 \text{ ug/m}^3$ , ya para 1996 ese promedio disminuyó hasta  $0,09 \text{ ug/m}^3$ , 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**

No solo a los seres humanos les afecta el estado de la contaminación atmosférica: otros seres vivos, como los líquenes, también sufren por ello. Sus poblaciones aumentan o disminuyen su densidad de acuerdo con la presencia de factores adversos en la atmósfera, llegando incluso a pagar un precio muy alto por la desmedida actividad humana, precio que incluye la muerte. 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 Barmes, 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 Grüninger 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).

### **Viabilidad de la aplicación del método con estudiantes**

En esta oportunidad queremos compartir con nuestros estudiantes y docentes una experiencia que desde 1976 ha venido llevando a cabo en Costa Rica un grupo de investigadores (Méndez y Fournier, 1980; Monge-Nájera y otros, 1999), la cual ha permitido determinar que los líquenes actúan como indicadores de la contaminación atmosférica también en las condiciones tropicales propias de América Latina, que de hecho es una de las regiones más antiguas del mundo en que se ha usado esta técnica (medio siglo). Se espera que la experiencia motive a los profesores para que juntos 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. A lo largo de una década hemos realizado experiencias de la técnica con estudiantes del Liceo Laboratorio, del Colegio Calazans y de la Universidad de Costa Rica. Hemos corroborado que la técnica es perfectamente comprensible y aplicable para los estudiantes y sus docentes a ese nivel. Aunque desconocemos experiencias en el 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).

## ¿Cómo se hace la medición y se aplica el método científico?

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. Como guía de interpretación se tiene dos opciones:

a) Comparar la cobertura en el lugar estudiado (ejemplo, calles aledañas a la escuela) con la cobertura en un área rural de clima parecido y no muy lejana de la escuela.

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

El Método Científico 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.

### **Un caso real: monitoreo de 20 años de contaminación usando líquenes en la ciudad de San José**

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	% DE COBERTURA Q DE LÍQUENES			
	1976	1986	1990	1997
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	4	0	0	0

Fuente. Observación directa, 1998.

Se deduce que 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).

## 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 UIm, Alemania).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFARO, MA. DEL R. 1998. Contaminación del aire. Emisiones vehiculares, situación actual y alternativas. San José, EUNED.
- ANDER-EGG, E. 1984. El desafío ecológico. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia, San José.
- AVENDAÑO, A. 1986. Contaminación industrial del aire por plomo. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química, San José, Universidad de Costa Rica.
- CURTIS, H.; BARNES, N. 1993. Biología. 5ta. Edición. Buenos Aires, Editorial Médica Panamericana.
- FOURNIER O., L.A. 1993. Recursos naturales. San José, Editorial de la Universidad Estatal a Distancia.
- GRÜNINGER, W.; VELARDE, M. 1985. 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

Investigaciones químicas y Biológicas, Universidad de Guatemala, Vol. 7.1: 34-41.

JANSEN, W.; SALISBURY, F. 1988. Botánica. 2da. Edición. México, McGraw-Hill.

MÉNDEZ, O.; FOURNIER, L.A. 1980. Los líquenes como indicadores de la contaminación atmosférica en el área metropolitana de San José, Costa Rica. En Revista de Biología Tropical. Vol. 28: 31-39.

\_\_\_\_\_. 1998. 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. 1998. Tránsito Promedio Diario. Asesoría de Planificación, Medios de Transporte. San José.

MONGE-NÁJERA, J. 1990. Introducción al estudio de la naturaleza. Una visión desde el trópico. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia, San José.

\_\_\_\_\_. 1994. Desarrollo sostenible en Costa Rica: Historia y caricaturas. Editorial de la Universidad Estatal a Distancia, San José.

\_\_\_\_\_. 1996. Ecología: Una introducción práctica. Editorial de la Universidad de Costa Rica.

\_\_\_\_\_; GONZÁLEZ, M.I.; RIVAS, M.; MÉNDEZ, V.H. 1999. Twenty years of lichen cover change in a tropical habitat and its relation with air pollution. Revista de Biología Tropical (sometido).

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

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

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