

Contaminación atmosférica urbana: una experiencia pedagógica CTS

Jorge Codnia y Anita Zalts*

Abstract (Urban air pollution: A STS teaching experience)

The focus of this article is a Laboratory Course at the Universidad Nacional de General Sarmiento (Argentina). It was designed to give the student the opportunity to be an active participant in a research project about different subjects. In this case, urban air pollution was selected because it is a good example of relationships between: *a*) science and technology in evaluating and solving problems, and *b*) societal and individual decisions and the environment. The student activities include searches in the library and the internet, environmental awareness, experiment design to ensure reliable data, sensor construction, sampling, calibration and measure processes, data handling and evaluation and a final public presentation of the results.

Introducción

Desde los comienzos de la civilización las personas han aceptado, en general sin cuestionarse, los riesgos que implican las nuevas tecnologías, para así disfrutar de sus beneficios. Esta actitud ha conducido a situaciones peligrosas, donde la salud de las personas y sus bienes se ven afectados negativamente por diversos contaminantes. Las actividades humanas, desde épocas que se remontan al descubrimiento y uso del fuego, hasta nuestras sociedades industrializadas actuales, afectan la calidad del aire. Por supuesto, las consecuencias de este fenómeno serán más severas si las condiciones geográficas y climáticas son desfavorables. La contaminación atmosférica compromete el bienestar de la población y en casos agudos conduce a serios problemas de salud. Además del sufrimiento de las personas, se dañan los materiales de la construcción, las superficies metálicas, telas, papel, etcétera, ocasionando gastos considerables debido al mantenimiento, reparación y/o reposición de los mismos. Algunos de los contaminantes atmosféricos más importantes son gases: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (llamados genéricamente NO_x), dióxido de azufre (SO_2), ozono (O_3) e hidrocarburos volátiles. También tienen un papel

importante los aerosoles (suspensión de partículas en aire). Todos estos contaminantes, sumados a los efectos nocivos del ruido ambiental, son particularmente agresivos en las atmósferas urbanas, donde reside la mayor parte de la población.

El Laboratorio Específico de la Mención Ciencias Exactas es una materia del Primer Ciclo Universitario (correspondiente al sexto semestre) del plan de estudios de la Universidad Nacional de General Sarmiento. Se trata de estudiantes de la Licenciatura en Ecología Urbana, Ingeniería Industrial, del Profesorado Universitario de Física o del Profesorado Universitario de Matemática. Tiene una duración de 16 semanas, con un encuentro semanal de cuatro horas.

El propósito general de este Laboratorio es lograr una participación activa de los alumnos en un proceso de investigación sobre temas de interés de la comunidad. Para el segundo semestre de 1998, el tema seleccionado fue la contaminación atmosférica urbana. Este trabajo supone enfrentar a los estudiantes a situaciones similares a las que en un futuro cercano puedan encontrar en el ejercicio de sus profesiones. Exigió enfrentarse a numerosos problemas y dudas, y a resolverlos siendo los estudiantes los creadores de soluciones y no meros ejecutores de indicaciones. El Laboratorio constituyó un espacio donde los alumnos pudieron enriquecer los conocimientos adquiridos en materias previas y desarrollaron sus habilidades desde el punto de vista experimental, llevando adelante un proyecto concreto vinculado con problemas de la sociedad.

Metodología empleada

Los conocimientos que se requieren para participar de esta materia son los que corresponden a dos cursos semestrales básicos de seis horas semanales de química (general, inorgánica y orgánica) y dos de física (leyes de Newton, mecánica y óptica). Después de una exposición general sobre la problemática de la contaminación atmosférica, se presentó a los estudiantes una lista de posibles problemas relacionados con el tema a ser investigado. De ellos, los estudiantes, en grupos de dos o tres personas, seleccionaron los siguientes: NO_2 , SO_2 , material particulado y ruido.

A partir de esta elección, el Laboratorio se desarrolló en tres etapas, correspondiendo a las siguientes actividades:

Etapa I: Definición del problema a investigar. La búsqueda de información fue la etapa clave. Con base en esta información se diseñaron los planes de trabajo, cubriendo tanto la diagramación de las experiencias, la evaluación de

*Universidad Nacional de General Sarmiento. Instituto de Ciencias. Roca 850 -- (1663) San Miguel, Provincia de Buenos Aires, Argentina azalts@ungs.edu.ar, jcodnia@citefa.gov.ar

las necesidades de insumos y/o materiales (calidad y cantidad), sus costos y potenciales proveedores, teniendo en cuenta el tipo de resultados que se pretendían obtener.

Etapa II: Realización del trabajo experimental. Trabajando sobre el diseño desarrollado previamente, se llevó a cabo la construcción de elementos sensores, se realizaron el muestreo y los análisis correspondientes tendientes a la obtención de datos.

Etapa III: Evaluación y presentación de los resultados. Los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente y analizados. Los resultados se presentaron por escrito y oralmente en una jornada ante miembros de la comunidad.

Actividades realizadas

Etapa I. Reconocer la información relevante y saber cómo se puede acceder a ella es de suma importancia en la formación de profesionales universitarios. Sin embargo, en el desarrollo de los cursos habituales, los estudiantes recurren casi con exclusividad a los libros de texto. Para muchos resultó novedosa la búsqueda bibliográfica sobre un tema específico en libros y revistas científicas de la biblioteca. También se incentivó el empleo de redes informáticas para la obtención de datos sobre experiencias similares realizadas en otras ciudades y para hallar normas y estándares nacionales e internacionales sobre la calidad del aire y su medición. Uno de los hallazgos más llamativos fue la casi total ausencia de datos sobre contaminación atmosférica en la ciudad de Buenos Aires (Moretón, 1996 y Aramendía, 1995) y sus alrededores. Este hecho resultó muy motivador: los estudiantes estaban enfrentando un desafío pues eran pioneros en la investigación de la calidad del aire de su ciudad, San Miguel, ubicada a 30 km de Buenos Aires.

En esta etapa se contó con la colaboración de investigadores invitados, especializados en problemas de contaminación atmosférica, que compartieron con los estudiantes los resultados y metodologías de sus trabajos.

Una vez recogida parte de la información, se evaluaron los diferentes métodos que permiten estudiar a los contaminantes. Las limitaciones de instrumental con que cuenta el laboratorio de Química y Física, tanto para muestrear como para el análisis, condujeron a seleccionar la técnica de los tubos pasivos para la determinación de NO_2 (Shooter, 1993; Ferm, 1991) y SO_2 (Huygen, 1962; Lewin, 1977). El principio de funcionamiento de los tubos pasivos es la difusión del analito desde la atmósfera hasta un adsorbente colocado en el interior de un tubo de dimensiones conocidas (Shooter, 1993). Se diseñó un modelo propio de tubos pasivos utilizando elementos de fácil adquisición. Para el análisis del material particulado se buscó un modelo de muestreador pasivo (Schultz, 1993) que permitiera eliminar las partículas grandes, de impacto nulo sobre la salud, que se depositan por

gravedad, pudiendo así estudiar las características de las partículas finas. Uno de los aspectos relevantes del diseño experimental fue que los estudiantes incluyeran el tema de los costos de los materiales entre las condiciones de contorno para resolver los problemas. Por ello, en cada proyecto se presentó una estimación de los gastos y de los elementos y/o reactivos necesarios, así como las indicaciones sobre cuáles son los proveedores de los mismos. El caso de los reactivos químicos resultó de gran interés, ya que hubo que considerar la cantidad, la calidad y las diferentes especificaciones de las drogas que se debían adquirir. En general, los estudiantes desconocían la existencia de diferentes calidades (y precios) de reactivos pues en su experiencia siempre habían recibido las soluciones ya preparadas.

Etapa II. Probablemente, la construcción en sí de los muestreadores, una vez decidido el diseño, fue lo más sencillo de esta etapa. En el caso de los tubos pasivos, se disponía de unos veinte tubos, empleados oportunamente en la campaña realizada en la ciudad de Buenos Aires (Aramendía, 1995). Se construyeron otros tubos según el diseño desarrollado en el Laboratorio. Para la construcción de los muestreadores de material particulado se utilizaron caños de PVC y una adaptación del modelo hallado en la bibliografía (Schultz, 1993). Mucho más compleja resultó la decisión sobre dónde y cómo colocar los muestreadores. Debido al principio de funcionamiento de los tubos pasivos, éstos debían estar expuestos durante unos 25-30 días. Se buscaron zonas céntricas, sobre cruces de avenidas y otras más alejadas, esperando obtener muestras de aire más limpio. Sin embargo, varios de los lugares seleccionados debieron descartarse debido a la negativa de comerciantes y empresarios a colocar los muestreadores en sus negocios.

Mientras los muestreadores permanecieron expuestos, se trabajó sobre los diferentes métodos de análisis de las muestras. En particular, se obtuvieron las curvas de calibración espectrofotométricas (NO_2) y turbidimétricas (SO_2) que luego permitieron determinar cuantitativamente la concentración de los gases presentes. Es de destacar que el método recomendado para el análisis de SO_2 es la cromatografía iónica. Al no disponer de dicho instrumento, se adaptó la técnica turbidimétrica descrita para el análisis de aguas (APHA, 1992) a las necesidades del Laboratorio.

La cantidad de material particulado se determinó por el método gravimétrico (Negí, 1996). El tamaño de las partículas se estimó en una primera instancia observando la muestra de particulado obtenida al microscopio y comparando cualitativamente con el espesor de un cabello, previamente calibrado con un calibre micrométrico. A partir de microfotografías digitalizadas fue posible evaluar computacionalmente el número y tamaño, así como algunas características

físicas de las partículas. Se construyeron los correspondientes histogramas. Es de notar que el método simple de comparación permitió estimar los tamaños de las partículas con una precisión razonable.

Además se realizaron mediciones de ruido ambiental empleando un decibelímetro (Realistic) en varios puntos de interés de la ciudad, teniendo cuidado de tomar las medidas a diferentes horarios (8 de la mañana, 12 del mediodía, 5 de la tarde y 9 de la noche) y en días laborables y sábados (Recuero López, 1998).

Etapa III. La obtención de los datos finales exigió una revisión y aplicación de los conocimientos de estadística, métodos de regresión, errores, etcétera (Miller, 1993). Una vez evaluados los diferentes contaminantes, los estudiantes elaboraron informes escritos describiendo la metodología de análisis empleada, los resultados con su evaluación crítica, conclusiones y bibliografía. La presentación oral de estos resultados fue un evento de gran importancia. La presentación de un trabajo, la preparación de gráficos claros y atractivos y la exposición de las conclusiones son habilidades muy útiles para el futuro desempeño profesional de los estudiantes y que deben ser desarrolladas. En esta presentación, además de estudiantes, docentes, y autoridades de la Universidad, se contó con la presencia de un canal de televisión local. La mención del trabajo de los estudiantes en el noticiero tuvo repercusiones muy favorables. La sociedad tuvo acceso a los resultados del trabajo y los estudiantes involucrados sintieron valorizado su esfuerzo en un ámbito externo al universitario.

Conclusiones

Esta materia permitió a los estudiantes poner en práctica conceptos aprendidos en materias cursadas anteriormente. Por otro lado, permitió desarrollar la capacidad de planificación, ejecución y evaluación de un proyecto para lograr la resolución de un problema concreto. Los estudiantes debieron obtener y procesar información bibliográfica, familiarizarse con el uso de instrumental moderno y diseñar experiencias. Se construyeron los dispositivos para realizar los muestreos; en el caso de los tubos pasivos se pudo comprobar que los resultados obtenidos con los diferentes tipos de tubos pasivos empleados no presentaron diferencias significativas entre sí, validando así el diseño desarrollado en el Laboratorio. Como resultado, se obtuvieron, se procesaron y se presentaron los datos correspondientes a las primeras mediciones de contaminación atmosférica en la ciudad de San Miguel. Los resultados fueron transferidos a la sociedad. La experiencia resultó altamente motivante tanto para los estudiantes como para los docentes.

Anexo 1. Diseño de los muestreadores

Esquema del muestreador (figura 1) utilizado para evaluar el material particulado, basado en el trabajo presentado por Schultz (1993). Los estudiantes diseñaron y construyeron los muestreadores; para ello emplearon caños de PVC de 9 cm y 5.6 cm de diámetro, utilizados habitualmente en la construcción.

El material particulado se recogió sobre círculos autoadhesivos de material plástico transparente (con el pegamento expuesto a la atmósfera), colocados en la base del muestreador. El sistema de ventanas cruzadas limita la entrada de partículas cuyo diámetro es mayor que $100\ \mu\text{m}$, y actúa como escudo protector contra vientos y lluvia.

Esquema del muestreador (figura 2) utilizado para evaluar la concentración de NO_2 y SO_2 en la atmósfera, basado en el diagrama presentado por Shooter (1993). Los estudiantes diseñaron y construyeron muestreadores a partir de materiales de fácil adquisición: frascos plásticos, papel de filtro,

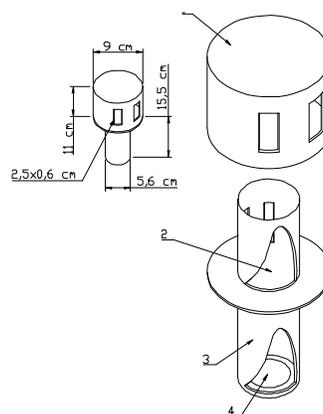


Figura 1. Diagrama del muestreador para material particulado. 1: tapa con dos ventanas; 2: interior con dos ventanas; 3: zona de sujeción; 4: recolector autoadhesivo de muestra.

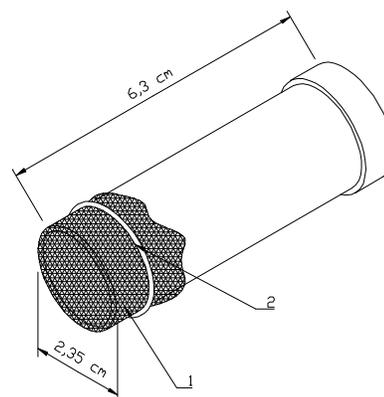


Figura 2. Diagrama del muestreador (tubo pasivo) para NO_2 y SO_2 . 1: malla fina; 2: bandita elástica.

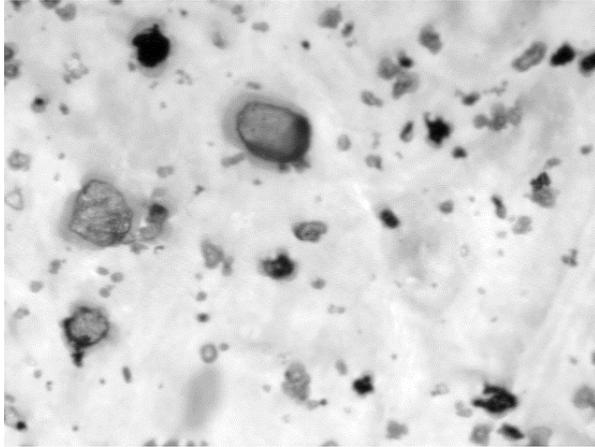


Figura 3. Microfotografías del material particulado recogido en la estación de muestreo N° 1 (centro de San Miguel).

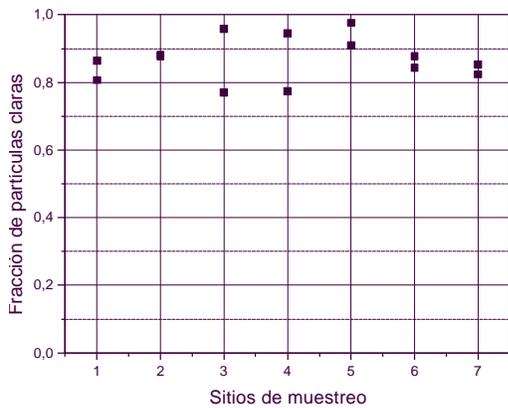


Figura 4. Fracción de partículas transparentes (silicatos en general) en cada sitio de muestreo.

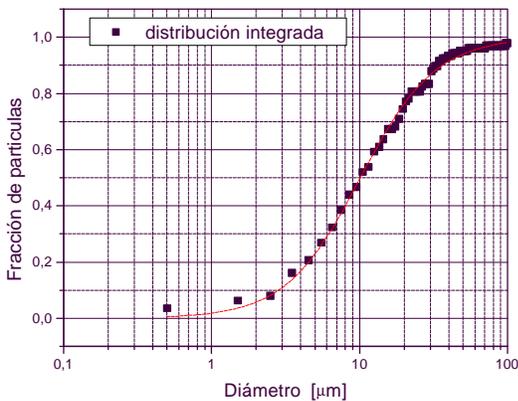


Figura 5. Distribución por tamaño de las partículas. Se observa que aproximadamente el 50% de las partículas tiene un diámetro menor de 10 μm , correspondiente a la fracción que produce mayor daño a la salud de la población.

un trozo de media de nylon y banditas elásticas. Se emplearon envases tubulares de poliestireno, con tapa a presión de polietileno, utilizados habitualmente para envasar medicamentos. Se cortó la base de los envases con una sierra.

Una vez lavado el material escrupulosamente, se colocaron en las tapas de polietileno círculos de papel de filtro (Whatman 41) impregnados en una solución conteniendo yoduro de sodio e hidróxido de sodio (Ferm, 1998) para determinar NO_2 o en solución acuosa al 4% de carbonato de sodio, para absorber SO_2 . Las tapas con los papeles se ajustaron a presión a los cuerpos de los tubos; la otra punta se protegió con una malla (trozo de media de nylon sujeto con una bandita elástica) para minimizar el ataque por insectos y disminuir la difusión turbulenta. Una vez preparados, los tubos se colocaron inmediatamente en bolsas de polietileno de cierre hermético y se guardaron en la heladera hasta el momento

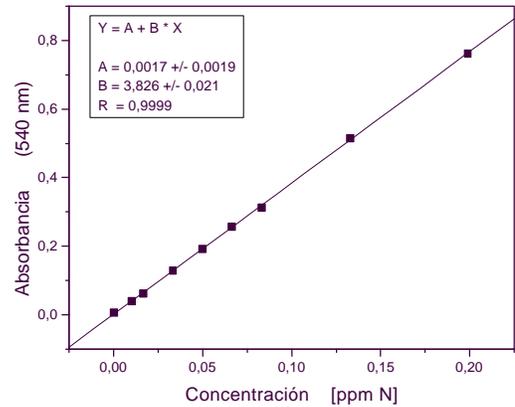


Figura 6. Curva de calibración espectrofotométrica obtenida para la determinación de la concentración de nitrito.

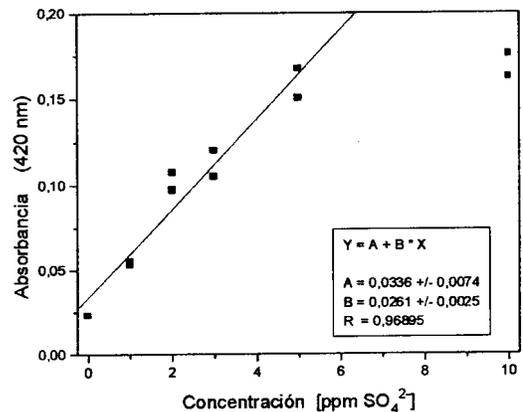


Figura 7. Curva de calibración turbidimétrica obtenida para la determinación de la concentración de sulfato.

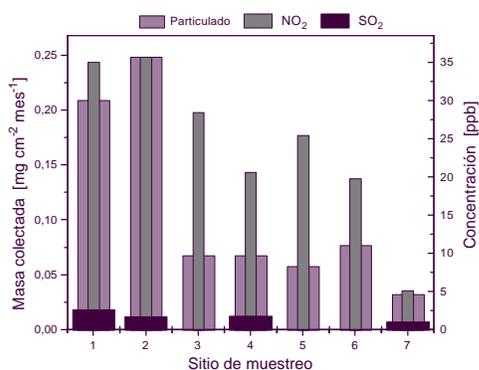


Figura 8. Material particulado, NO₂ y SO₂ en los distintos sitios de muestreo

de ser instalados. Los muestreadores se expusieron a la atmósfera durante 18-26 días. El análisis espectrofotométrico de nitrato se realizó según el método descrito por Shooter (1993) y el de sulfato, una vez oxidado a sulfato por acción del agua oxigenada, se realizó mediante una turbidimetría (APHA, 1992).

Anexo 2. Resultados obtenidos por los estudiantes

En este anexo se presentan algunos de los resultados gráficos obtenidos por los estudiantes. Los mismos fueron incluidos en sus respectivos informes de trabajo y en la presentación pública, una vez finalizado el semestre.

Material particulado

Este grupo de estudiantes trabajó fundamentalmente sobre el procesamiento de los datos, tratando de extraer y comprender la información contenida en las muestras de material adherido al plástico transparente utilizado como colector. El análisis de las microfotografías se realizó empleando el sistema de procesamiento de imágenes NIH IMAGE (National Institute of Health), al cual se accedió por Internet.

Dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre

Los estudiantes que optaron por realizar las determinaciones de estos gases se enfrentaron a la necesidad de construir curvas de calibración. Para ello fue necesario adquirir habilidades relacionadas con el manejo de material analítico (balanza analítica, matraces, pipetas aforadas, espectrofotómetro). Adicionalmente se trabajó sobre la preparación de soluciones, los cálculos que se requieren, diluciones y expresión de los resultados. Una vez obtenidas las curvas de calibración, resultó interesante la discusión que surgió sobre los errores asociados, y el concepto de sensibilidad y límite de detección.

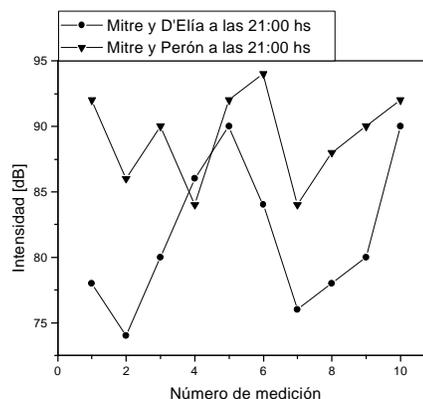


Figura 9. Dispersión de los valores de las mediciones de ruido ambiente en dos cruces céntricos.

Ruido

El estudio del ruido ambiental requirió el diseño de patrones de muestreo diferentes a los empleados por los otros grupos. En este caso, los datos pueden adquirirse instantáneamente, por lo que se evaluó el ruido a diferentes horas del día. Fue importante el tratamiento de datos, así como la interpretación de los resultados, correlacionando éstos con las costumbres de la población, sus horarios, la presencia de semáforos, de comercios muy ruidosos (disquerías), etcétera.

Referencias

- APHA, AWWA, WPCF; *Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y residuales (1ª edición)*, Ed. Díaz de Santos, SA, 1992.
- Aramendía, P, Fernández Prini, R y Gordillo, G, ¿Buenos Aires en Buenos Aires? *Ciencia Hoy*, **6**[31], 55-64, 1995.
- Ferm, M, A sensitive diffusional sampler; *IVL Rapport of the Swedish Environmental Research Institute B-1020*, 1991.
- Ferm, M y Svanberg, P-A, Cost-efficient techniques for urban and background measurements of SO₂ and NO₂. *Atmospheric Environment*, **32**[8], 1377-1381, 1998.
- Huygen, C, The sampling of sulfur dioxide in air with impregnated filter paper, *Analitica Chimica Acta*, **28**, 349-360, 1962.
- Lewin, E y Zachau-Christiansen, B, Efficiency of 0.5 N KOH impregnated filters for SO₂-collection, *Atmospheric Environment*, **19**, 1117-1124, 1977.
- Miller, JC y Miller, JN, *Estadística para química analítica (2ª edición)*, Adison-Wesley Iberoamericana, 1993.
- Moretón, Juan, *La contaminación del aire en Argentina*, Ed. Universo, Buenos Aires, 1996.
- Negi, BS, Sadasivan, S, Nambi KS y Pande, BM, Characterization of atmospheric dust at Gurushikar, Mt. Abu, Rajasthan, *Environmental Monitoring and Assessment*, **40**, 253-259, 1996.
- Recuero López, M; Noise Map of the Madrid Region; *School of Environmental Science and Technology*, Buenos Aires, **1**, 123-145, 1998.
- Schultz, E, Size-fractionated measurement of coarse black carbon particles in deposition samples, *Atmospheric Environment*, **27A**(8), 1241-1249, 1993.
- Shooter D, Nitrogen dioxide and its determination in the atmosphere, *J. Chem. Educ.*, **70**[5], A 133-140, 1993.