



## ESTUDIO COMPARATIVO DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL EN DIFERENTES PUNTOS DE LA CIUDAD DE SANTA CLARA, CUBA.

P. J. Villegas Aguilar, R. Martínez Martínez, V. S. Ocaña Guevara, B. Bucki Wasserman\*

Centro de Estudio de Termoenergética Azucarera (CETA), Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, 54830, Cuba. Teléfono: (+53) 42 281194 – Fax: (+53) 42 281608 - Email: [pjva@fim.uclv.edu.cu](mailto:pjva@fim.uclv.edu.cu).

\*Grupo de Estudios sobre Energía (GESE), Unidad Académica Confluencia, Universidad Tecnológica Nacional, Plaza Huincul, 8318, Neuquén, Argentina. Teléfono: (+54) 299 4963292 – Fax: (+54) 299 4960510 - Email: [buck@arnet.com.ar](mailto:buck@arnet.com.ar)

### RESUMEN

La contaminación atmosférica implica un enorme costo social por la degradación de la calidad de vida de los seres humanos. Para mitigar estos efectos frecuentemente se parte de la experiencia de los países más avanzados, siendo necesario tener en cuenta las características particulares de cada ciudad, las que determinan la medida en que los contaminantes primarios se transforman en la atmósfera, para hallar los remedios más eficaces. Desde 1996 el CETA en colaboración con la Organización no-Gubernamental Generalitat de Catalunya, viene efectuando el monitoreo de diversos contaminantes (monóxido y dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre y partículas en suspensión) usando distintas alternativas experimentales. Sobre la base de estas medidas puede asegurarse que la mayor fuente de contaminación son las emisiones primarias procedentes particularmente del tránsito automotor. A pesar de que no se han encontrado evidencias de “smog” la situación es de todas maneras preocupante.

**Palabras claves:** Medio ambiente, contaminación, dióxido de azufre, partículas en suspensión.

### I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo científico y la aplicación de los conocimientos que genera se encuentran relacionados con las expectativas que los dirigentes en las distintas áreas y la sociedad en su conjunto asignan a esta actividad para resolver problemas y fundamentalmente, ampliar el horizonte en la calidad de vida y la capacidad del hombre. En el advenimiento del nuevo milenio y como consecuencia de haber avanzado crecientemente sobre los recursos naturales, finalmente se comprueba que los mismos no solo no son inagotables sino que son bienes y servicios que el ecosistema nos provee en forma gratuita y cuyo valor económico es superior a todo lo que el hombre es capaz de generar a través de todas sus actividades, incluyendo los recursos naturales puestos en el mercado, se encuentra severamente afectado. Esta situación sin precedentes en la historia humana, nos pone frente al desafío de ampliar nuestra conciencia recuperando el concepto y la vivencia de que el ecosistema es una parte indisoluble de nuestra vida su cuidado es esencial para nuestro futuro. <sup>(4, 5)</sup>

Las actividades productivas generan diversos efectos sobre el ambiente. Estos pueden ser a su vez magnificados o atenuados por las condiciones naturales del ecosistema en que se desarrollan. En los casos en que la actividad industrial está concentrada espacialmente, el riesgo de superación de la capacidad auto depurativa del ambiente es aún mayor. A los contaminantes individuales que vierten cada industria, se suman los efectos sinérgicos producidos por las reacciones de las sustancias entre sí. <sup>(3)</sup> Aunque algunos autores han reportado trabajos sobre la cuantificación de algunos contaminantes en la atmósfera, debe tenerse en cuenta, algunas regulaciones locales que exigen de una estricta vigilancia de determinadas sustancias que por su naturaleza afectan sensiblemente la salud humana. <sup>(1,2)</sup>

El objetivo del presente trabajo es cuantificar algunas de las emisiones nocivas en diferentes puntos de la Ciudad de Santa Clara en la Provincia de Villa Clara, Cuba, identificar las principales fuentes contaminantes que afectan la calidad de vida de los ciudadanos y emitir las recomendaciones correspondientes para resolver dicha situación.

### II. PARTE EXPERIMENTAL

Para llevar a la práctica el objetivo propuesto se realizaron un grupo de acciones que permitieran no solo monitorear las diferentes zonas de la ciudad sino también identificar las principales fuentes contaminantes.

En este sentido se colocaron tres estaciones de monitoreo permanente de partículas sólidas en suspensión y dióxido de azufre, situadas en:

- **Zona rural**, a unos 10 km. al este de la Ciudad de Santa Clara, la cual se identificará en lo siguiente como Estación 1;
- **Zona urbana**, situada en el mismo centro de la Ciudad de Santa Clara, la cual se identificará en lo siguiente como Estación 2;
- **Zona industrial**, situada al sur de la Ciudad de Santa Clara, la cual se identificará en lo siguiente como Estación 3.

En la Figura 1 se presenta una foto de la estación 1.



**Figura 1.** Estación 1 ubicada a unos 10 Km. al este de la Ciudad de Santa Clara.

El dióxido de azufre se determinaba por oxidación en solución de peróxido de hidrógeno al 1% y el material particulado se recogió mediante un captador de alto volumen y los filtros con tamaño de poros micrométricos (calidad cualitativa) correspondientes a cada día se analizaron con un reflectómetro TVM 100, siguiendo normas y procedimientos establecidos. Esta medición que se basa en el ennegrecimiento de un filtro comparado con el mismo sin exponer, tiene la ventaja de que fundamentalmente se retienen los humos negros producto de la combustión ineficiente de vehículos, generadores de vapor, hornos, entre otros focos emisores.

Se analizaba el comportamiento diario de cada uno de estos parámetros y se registraban las concentraciones correspondientes en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , referido al volumen de aire muestreado, el cuál se mantuvo entre 1.5 y 2  $\text{m}^3/\text{día}$ .

Asimismo, se evaluaron algunas de las fuentes contaminantes, para asociar los resultados obtenidos con el efecto provocado por sus emisiones, fundamentalmente en calderas o generadores de vapor y conductos de escape de:

- Vehículos automotores, fundamentalmente ómnibus urbanos;
- Hospitales;
- Fábricas diversas, que incluyen la zona industrial de Santa Clara y la Planta Piloto Azucarera “José Martí” situada a unos 10 km. al este de la Ciudad de Santa Clara.

Para realizar esto análisis se emplearon los analizadores de gases de la combustión KANE MAYE KINTOX y ORSAT y de partículas sólidas en suspensión BACHARACH.

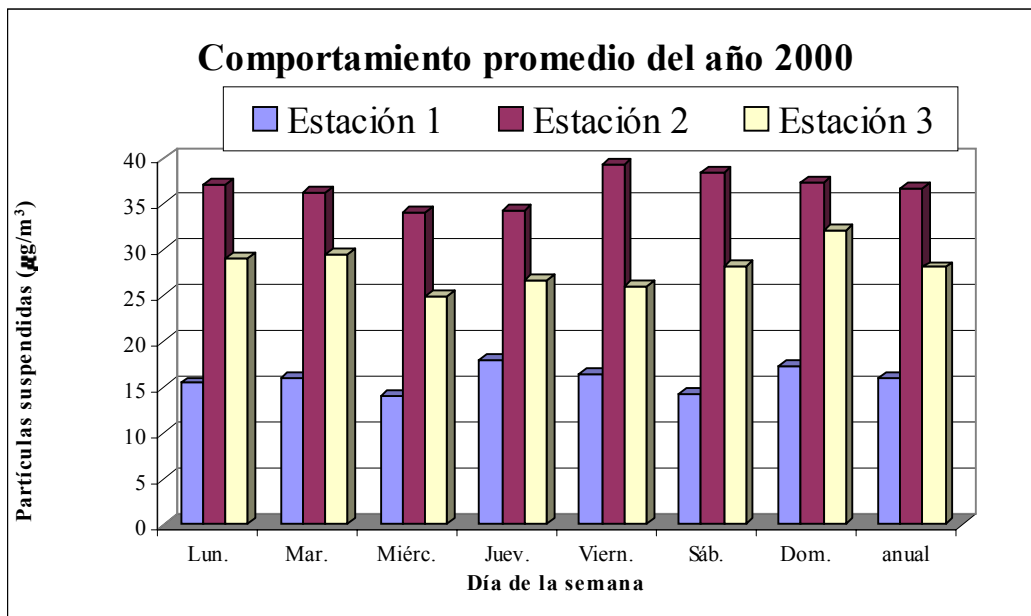
### III. RESULTADOS Y DISCUSION

En las Figuras 2 y 3 se presenta a modo de ejemplo, el comportamiento diario promedio de las concentraciones de partículas suspendidas y dióxido de azufre durante el año 2000 en cada una de las estaciones, cuyos valores estadísticos se reportan en la Tabla 1 que se presenta a continuación.

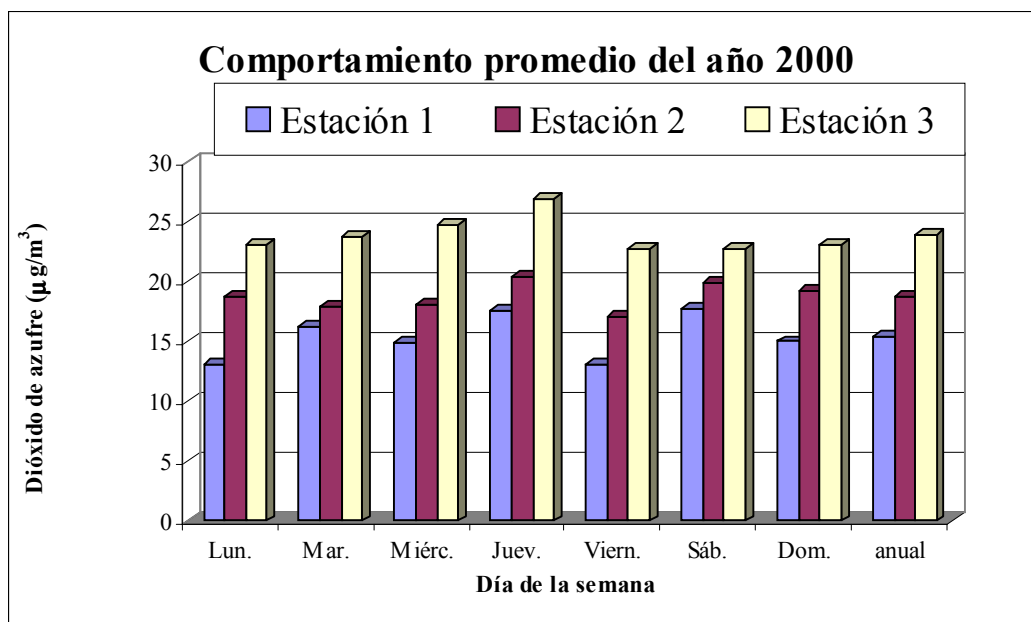
	Estación 1		Estación 2		Estación 3	
	$c_p$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$c$ ( $\text{SO}_2$ ) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$c_p$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$c$ ( $\text{SO}_2$ ) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$c_p$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$c$ ( $\text{SO}_2$ ) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
$\bar{X}$	15.92	15.41	36.73	18.81	28.02	23.92
$S^2$	1.33	1.29	1.99	0.85	1.16	0.002
D.S.	1.15	1.13	1.41	0.92	1.12	1.04
I.C.	$15.92 \pm 1.32$	$15.41 \pm 1.30$	$36.73 \pm 1.62$	$18.81 \pm 1.06$	$28.02 \pm 1.28$	$23.92 \pm 1.19$

**Tabla 1.** Valores estadísticos de las determinaciones de concentración de partículas sólidas en suspensión ( $c_p$ ) y dióxido de azufre  $c$  ( $\text{SO}_2$ ) durante el año 2000. ( $\bar{X}$ : media;  $S^2$ : varianza; D. S.: desviación standard; I.C.: intervalo de confianza).

Debe notarse en la Tabla 1, como los valores medios obtenidos están muy por debajo de los límites máximos permitidos de  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ , lo que evidencia un aire relativamente poco contaminado, a pesar de que este valor se rebasó algunos días, lo cual se comprobó estaba determinado por condiciones climáticas desfavorables, como lo son bajísimas velocidades del viento y humedad relativa mínima, lo que redundaba en una acumulación de las emisiones en el lugar de medición, sin que estas sean propagadas por el viento o arrastradas por las lluvias, no siendo altamente preocupante la situación, ya que estos días fueron los mínimos. Los reducidos intervalos de confianza, corroboran la afirmación de que los valores se mantienen muy cercanos a la media estadística durante prácticamente todo el año.



**Figura 2.** Concentración diaria promedio de partículas sólidas suspendidas en diferentes puntos de la Ciudad de Santa Clara en el año 2000.

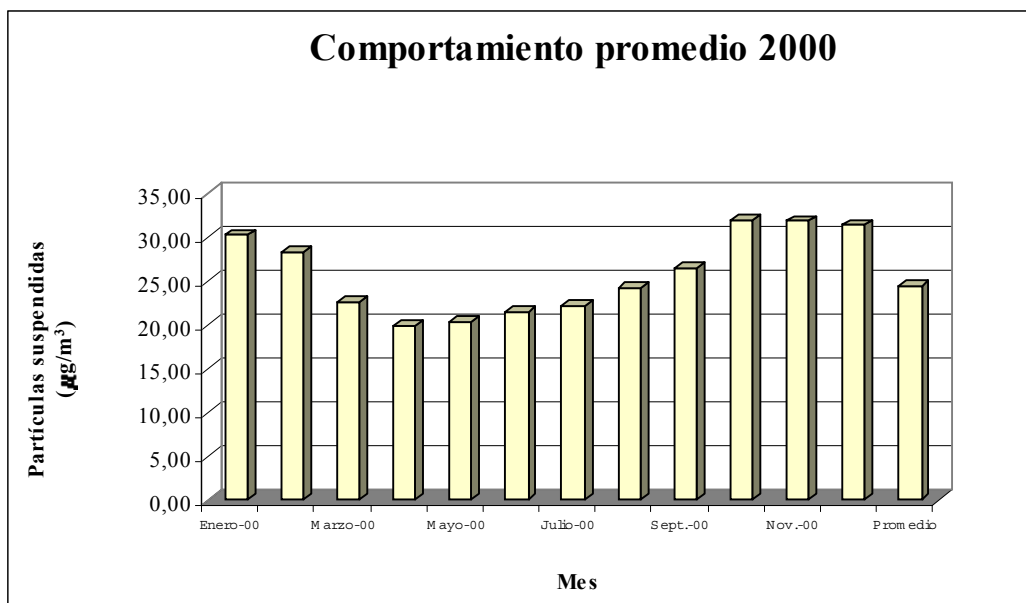


**Figura 3.** Concentración diaria promedio de dióxido de azufre en diferentes puntos de la Ciudad de Santa Clara en el año 2000.

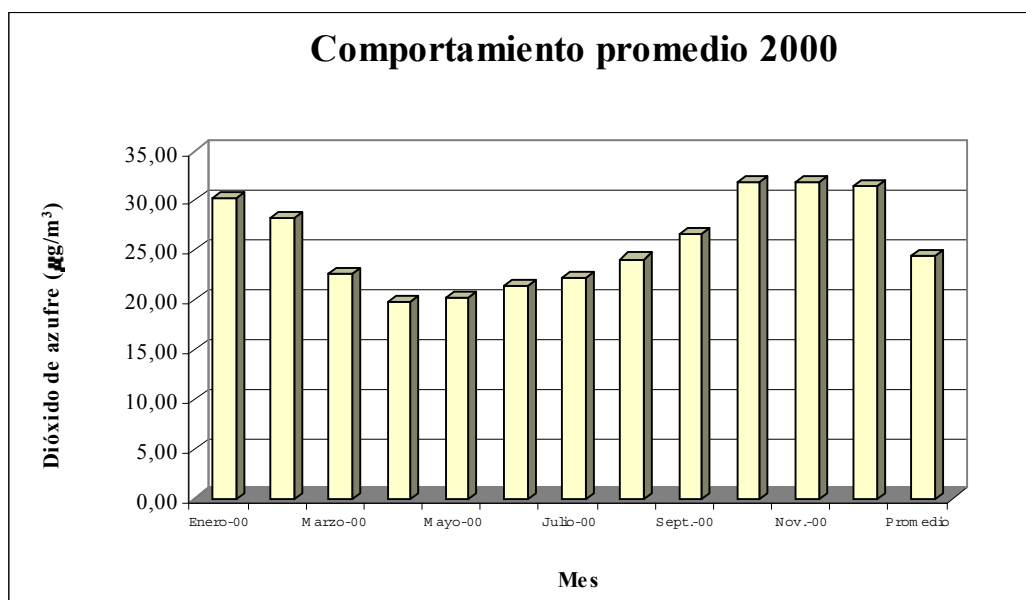
Del análisis de las figuras 2 y 3 se deriva que la zona más afectada por la contaminación debida a las partículas sólidas en suspensión es la situada al Centro de la Ciudad, lo cual se determinó que estaba causado por la alta densidad de circulación vehicular en dicha zona, le sigue en orden descendente la zona industrial y por último la zona rural. En el caso de la evaluación del dióxido de azufre se obtuvo que la zona industrial presentaba las mayores concentraciones, luego la zona del centro de la Ciudad y por último la zona rural, siendo esta última la menos contaminada por ambos factores, éstos bajos índices de contaminación se deben a que independientemente de estar situada dentro de ella la Planta Piloto Azucarera “José

Martí” que se ha mantenido funcionando durante parte de este periodo, la elevada densidad de espacio verde que presenta, favorece la incorporación rápida del CO<sub>2</sub> producido en la misma por las plantaciones del lugar; estas emisiones de CO<sub>2</sub> no interfieren en la medición del SO<sub>2</sub>, ya que como se expresó previamente, ésta se realiza por oxidación con peróxido de hidrógeno, con el cual no reacciona el CO<sub>2</sub>, ya que en este óxido el carbono presenta su mayor estado de oxidación posible. Debe destacarse que la mejor calidad del aire en la zona correspondiente a la Estación 1, es también consecuencia de una favorable circulación de los vientos en dicho lugar.

En las Figuras 4 y 5 se ilustra a modo de ejemplo, la evolución anual de las concentraciones de partículas suspendidas y de dióxido de azufre para el año 2000 en la estación situada en la zona industrial.



**Figura 4.** Concentración mensual promedio de partículas sólidas suspendidas en la zona industrial de la Ciudad de Santa Clara en el año 2000.



**Figura 5.** Concentración mensual promedio de dióxido de azufre en la zona industrial de la Ciudad de Santa Clara en el año 2000.

Debe notarse en las figuras 4 y 5 que se mantiene la misma tendencia, es decir, valores mínimos en los meses de primavera y verano y valores máximos en los meses de otoño e invierno, esto se debe fundamentalmente a que en los meses de primavera y verano se producen las mayores precipitaciones (alrededor del 80% de las que se producen durante todo año), y las mayores velocidades de los vientos, lo que ocasiona una disminución en los valores determinados.

#### IV. CONCLUSIONES

Luego de realizado este trabajo debe concluirse que la Ciudad de Santa Clara, Cuba presenta una adecuada calidad del aire, evidenciada por los valores de las determinaciones realizadas por el equipo de investigadores del CETA, no encontrándose evidencia alguna de “smog”, y estando las concentraciones determinadas muy por debajo de las permisibles durante prácticamente todo el año, pero que dado los ingentes esfuerzos que realiza el país para garantizar niveles adecuados de salud para toda la población, debe mantenerse una estricta vigilancia sobre los parámetros medidos.

Del análisis de los resultados de este trabajo se deriva un grupo de recomendaciones para mejorar la calidad del aire en la Provincia de Villa Clara, esta van dirigidas hacia:

- Realizar un mantenimiento exhaustivo de los vehículos y velar porque se minimicen sus emisiones. Eso puede controlarse mediante la mayor exigencia en las inspecciones técnicas anuales realizadas a los mismos.
- Operar los generadores de vapor con las relaciones aire - combustible que garanticen una adecuada eficiencia de la combustión.

#### V. REFERENCIAS

1. Bogo, H.; Garay, F.; Santander Irarragorri, E.; Martín Negri, R.; Aramendía, P. F.; Gordillo, G.; San Román, E.; Fernández Prini, F. “Gases y partículas en la atmósfera de la Ciudad de Buenos Aires”. *Memorias del Congreso “Ecotoxicología y desarrollo sustentable” (SETAC), organizado por la Sociedad Latinoamericana de Toxicología y Química Ambiental*, Buenos Aires, Argentina, octubre, **1998**.
2. Bastos-Netto, D.; Couto, H. S.; Carvalho Jr., J. A. “Notes on the Air Pollution Problem in Brazil”. *Proceeding of the Fifth Asian Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization (APISCEU)*, organizado por el Instituto de Ingeniería Termofísica de la Academia de Ciencias de Shanghai, China en Octubre de 1999. Edited by Huang Zhao Xiang and Liu Xin, International Academic Publishers, 208-214, **1999**.
3. Cai, P.; Tsue, M.; Ohyagi, S.; Wada, Y.; Kono, M. “An Experimental Investigation on Combustion and NO<sub>x</sub> Emission Characteristic of Methane Opposed Jets in High Temperature Environments”. *Proceeding of the Fifth Asian Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization (APISCEU)*, organizado por el Instituto de Ingeniería Termofísica de la Academia de Ciencias de Shanghai, China en Octubre de 1999. Edited by Huang Zhao Xiang and Liu Xin, International Academic Publishers, 253-262, **1999**.
4. De Prieti, D.; Yahdjian, M. L. “Los problemas ambientales de la concentración industrial. Un caso de estudio en la Provincia de Buenos Aires”. *Memorias del Congreso “Ecotoxicología y desarrollo sustentable” (SETAC), organizado por la Sociedad Latinoamericana de Toxicología y Química Ambiental*, Buenos Aires, Argentina, octubre, **1998**.
5. Herkovits, J.; Daniel, P.; Fridman, O.; Pérez Coll, C.; Parada, J.; “Proyecto: Ciencias ambientales y sociedad”. *Memorias del Congreso “Ecotoxicología y desarrollo sustentable” (SETAC), organizado por la Sociedad Latinoamericana de Toxicología y Química Ambiental*, Buenos Aires, Argentina, octubre, **1998**.

#### ABSTRACT

The atmospheric contamination implies a very high social cost due to the degradation of the quality of habitant's life. It is common that the mitigation measures and control are based on the experience of the most advanced countries, been necessary to keep in mind the peculiar characteristics of each city, those that determine the measure that the primary pollutants become in the atmosphere, to find the most effective remedies. From 1996 the CETA in collaboration with the Non-Government Organization Genaralitat of Catalunya, comes making the monitoring of diverse pollutants (carbon monoxide and dioxide, nitrogen and sulfur oxides and particles in suspension) using different experimental alternative. Based on these measures can make sure that the highest contamination source is particularly the reasonable primary emissions of the self-driven traffic. Although there are not “smog” evidences the situation it is anyway preoccupant.

**Keywords:** Environment, contamination, sulfur dioxide, particles in suspension.