

DEPOSICIÓN SECA DE DEPOSICIÓN SECA DE SO₂ EN DIFERENTES REGIONES DE CUBA. COMPORTAMIENTO Y EFECTOS POTENCIALES

Autores: PEDRO SÁNCHEZ NAVARRO

Centro de Contaminación y Química Atmosférica, Instituto de Meteorología.

Resumen:

La deposición seca anual del dióxido de azufre (SO₂) durante un periodo de catorce años es evaluada para diferentes regiones de Cuba, comparando dos periodos parciales caracterizados por importantes cambios en los niveles de producción industrial en el país. Se apreció además una tendencia general al incremento de la deposición del SO₂ asociada a la reanimación de la actividad industrial.

A partir de valores anuales individuales, se estimó la deposición para el país en los años de 1993 a 1997. Los resultados obtenidos mostraron una apreciable coincidencia con el comportamiento de algunas de las principales industrias del país.

La observada inclinación positiva de las tendencias actuales de la deposición seca del SO₂ en áreas del país vulnerables a la deposición ácida, identifica a este proceso como un importante factor de potenciación para la ocurrencia de impactos negativos en ecosistemas forestales, en particular para algunas zonas de Camagüey a Matanzas y en Pinar del Río, y en zonas urbanas de la ciudad de La Habana.

Introducción

La solución a los actuales problemas medio ambientales constituye un paso fundamental para el desarrollo de la vida con sentido de sostenibilidad.

En el caso específico de Cuba, en la actualidad se enfrenta la necesidad de asumir la reanimación de la industria, sobre la base del consumo como fuente de energía, de crudo nacional, el cual posee en general altos contenidos de azufre. Por otro lado, aun cuando en la actualidad se realizan esfuerzos para una paulatina modernización de la industria nacional, fundamentalmente en el sector energía, predominan los procesos basados en el uso de tecnologías atrasadas que representan de por sí importantes fuentes de contaminantes.

Como objetivo general, en este trabajo se planteó la caracterización actualizada de la deposición seca del SO₂ en zonas de interés en Cuba, incluyendo una identificación de posibles impactos negativos para diferentes ecosistemas y otras áreas sensibles.

Materiales y métodos

En la Tabla 1 aparecen las características principales de las estaciones del Centro de contaminación y Química atmosférica (CECONT), en las cuales se realiza el muestreo sistemático del SO₂, cuya infor-

mación resultó básica para la elaboración del presente trabajo. Adicionalmente se utilizó información de concentraciones determinadas en diferentes zonas económicas del país en diversas etapas, la cual aparece debidamente representada en el trabajo.

Estación	Lat. N.	Long. W.	Altura (metros)	Tipo estación	Dist. a la costa (Km.)	pH suelo	Viento predominante
La Palma	22°46'	83°13'	47,4	Rural	6,0	5,1	NE
Casibariuca	23°10'	82°21'	50,1	Urbana con influencia industrial	1,3	5,6-6,0	NE
Cidón	22°41'	80°45'	33,0	Rural	43,0	6,05	NE
Paila	22°06'	78°17'	15,8	Rural	15,0	6,3	E
Santiago de Cuba	20°01'	75°49'	38,0	Urbana residencial	8,0	4,6-5,0	S

Dada la carencia de mediciones directas de la deposición, se utilizó una alternativa ampliamente utilizada en estos casos, consistente en una forma simple de cálculo cuya expresión matemática es: $F = C \cdot Vd$

donde F representa el flujo de materia hacia la superficie, C es la concentración medida en cada lugar y Vd una velocidad de deposición específica para cada especie, determinada experimentalmente y dependiente fundamentalmente de factores climático - meteorológicos y de las características de la superficie subyacente.

Discusión de los resultados

Cuantificación de la deposición

Para la selección de los valores de Vd, utilizados en este trabajo se analizaron resultados reportados por diferentes autores, escogiéndose los que más se adaptan a las condiciones de Cuba (Tabla 2), entre estos los obtenidos por Meyers et al (1991), promediados sobre una amplia variedad de sitios geográficos de E.U.A, y los que aparecen recomendados en el reporte de Whelpdale y Kaiser (1995) para condiciones tropicales y subtropicales, así como en el reporte de Rihm (1994), vinculado al mapeo de cargas críticas de acidez para Suiza y por López et al. (1998) en la evaluación de la vulnerabilidad a la acidez en Cuba.

Tabla 2 Valores seleccionados de la velocidad de deposición Vd (cm s⁻¹) para el SO₂ en dependencia del uso de la tierra y las condiciones climáticas. *(con estación seca)

Compuesto	Uso de la tierra	Tropical húmedo* y Tropical lluvioso	Tropical Seco
SO ₂	Suelos desnudos	0.25 (1)	0.2
	Sabanas, pastos, matorrales	0.45	0.35
	Tierras de cultivos	0.45 (1)	0.35
	Bosques caducifolios	0.4 (1)	0.35
	Bosques de coníferas	0.6 (1)	0.5
	Lagos, humedales	0.2 (1)	0.2
	Construcciones antropog.	0.2 (1)	0.2

(1) Estimados a partir de los valores reportados por Whelpdale y Kaiser, (1995).

Las figs. 1 y 2 muestran la tasa anual de deposición del SO₂ en las diferentes zonas durante el periodo general, observándose una clara diferencia entre los volúmenes de azufre aportados en los años 80 y los correspondientes a la década de los 90.

A finales de los años 80 se produjo en Cuba una notable caída general de la actividad económica hasta los años 1993-1994, que marcaron el inicio de una tendencia a la recuperación sobre la base fundamental de un uso creciente de crudo nacional y sus derivados como fuente de energía en el desarrollo la mayoría de los procesos industriales.

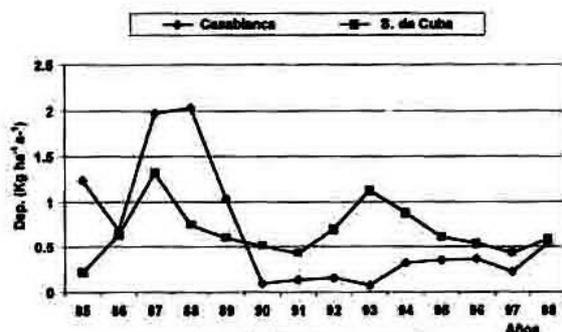


Fig. 1 Cambio anual de la deposición SO₂ Medio urbano

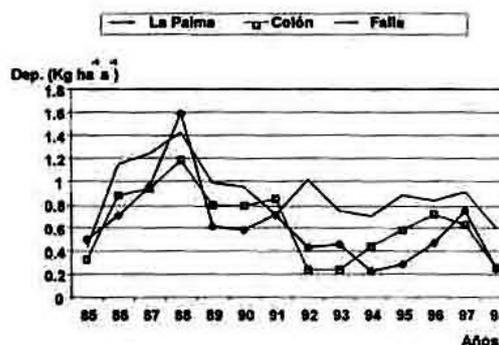


Fig. 2 Cambio anual de la deposición SO₂ Medio rural

Coincidiendo con lo antes señalado, fueron encontrados puntos de cambio (PC), altamente significativos en las series de datos de deposición, los cuales son mostrados en la Tabla 3. Los PC marcan inflexiones en las curvas descritas por la deposición en cada lugar, permitiendo conocer el comportamiento de la tendencia en el proceso a cada lado de esos puntos.

Tabla 3. Tendencias de la deposición seca del SO₂ por estaciones (1985 - 1998)

Estación	Ubicación del (P.C)	Características de la tendencia a la izq. del P.C.	Características de la tendencia a la der. del P.C.
La Palma	Feb. / 91	Decrec. significativa	Crec. significativa
Casablanca	En. / 90	Decrec. no significativa	Crec. significativa
Colón	En. / 92	Decrec. significativa	Crec. significativa
Falla	Feb. / 91	Decrec. no significativa	Decrec. no significativa
Santiago de Cuba	de Mar / 89	Crec. no significativa	Crec. no significativa

Efectos potenciales de la deposición del SO₂

En diferentes zonas del país como Moa, Nuevitas, Cienfuegos, Mariel y la propia capital, funcionan industrias emisoras de SO₂ en cuyas cercanías pueden ocurrir, y de hecho se han verificado importantes impactos negativos asociados a la presencia de contaminantes atmosféricos en diferentes componentes del medio ambiente. Las deposiciones anuales de SO₂ calculadas a partir de concentraciones determinadas en algunos de esos lugares son representadas en la Tabla 4.

Las deposiciones determinadas para las zonas de Varadero, Guanabo y El Megano, se corresponden con algunos valores determinados en lugares remotos de Europa, aunque considerando el desarrollo que se ha producido, principalmente en actividades del sector petrolero en áreas cercanas, debe esperarse que en la actualidad las emisiones de SO₂ que inciden sobre esas importantes zonas turísticas superen a las de los años reflejados en la tabla. Los valores de Moa corresponden a un periodo de importantes disminuciones forzadas de la emisión de dióxido de azufre en ese territorio a causa de los cambios ocurridos en la economía nacional.

Tabla 4. Deposición anual de SO₂ (Kg. ha⁻¹ a⁻¹) para zonas del nivel local.

Zona	Deposición	Año*
Moa	7.854	1989
Guamabo	1.28	1991
Megano	2.304	1992
Varadero	3.008	1988

La reanimación de la producción en grandes centros industriales a expensas del uso de crudo cubano puede contribuir a la profundización de impactos negativos observados actualmente en la salud de la población en algunos asentamientos vinculados a esa actividad, así como a la corrosión de diferentes estructuras susceptibles de daños por la misma y pérdida de la capacidad productiva de los suelos agrícolas y forestales.

Los efectos de la deposición del SO₂ sobre la vegetación pueden ser directos, manifestados por la aparición de clorosis o necrosis en el follaje. Sobre tales efectos no existen evidencias para Cuba en la actualidad, aunque dada la escasez de estudios al respecto, la posibilidad de que tales daños se produzcan en algún lugar no debe ser descartada.

Un importante efecto indirecto deriva del cambio en la disponibilidad de nutrientes en los suelos, lo que puede provocar cambios en la estructura y funciones del ecosistema, en la composición florística y en la diversidad de las especies (Hanneberg, 1993).

En general, la deposición seca del SO₂, partículas y otros contaminantes, provocan efectos en los materiales pétreos, los cuales se manifiestan en el deterioro de piezas escultóricas y edificaciones, cuya magnitud es ejemplificada en la figura 3.



Fig. 3. Daño severo en una fachada por efecto de la lluvia ácida. (Tomado de: Nord and Tronner, 1995)

La falta de datos de inventarios de emisiones, constituye un obstáculo para la identificación exacta de las relaciones entre las emisiones de azufre a la atmósfera, los procesos de deposición de esa sustancia y los daños ambientales y económicos asociados, dificultad de la cual no ha estado exento el presente trabajo.

Como solución alternativa, utilizando los valores anuales disponibles, se estimó la deposición para el país en los años de 1993 a 1997. Los resultados fueron comparados con información sobre el comportamiento de algunas de las principales industrias, específicamente con la producción de cemento y la generación de electricidad, las cuales han mostrado ya buenas relaciones con procesos de contaminación en el país (López et. a l., 1998).

En la Figura 4 se aprecia un ritmo de crecimiento continuo de la producción de cemento, coincidente con la tendencia general mostrada por la deposición, incluso en 1996 cuando se produjo una leve caída en la producción de esa industria.

La Figura 5 muestra una correspondencia aun mejor entre la deposición estimada y la generación de electricidad, industria que durante el periodo ha mantenido un notable incremento en la utilización de crudo cubano (se prevé para finales del año 2000 producir el 70 % de la electricidad a partir del crudo cubano y el gas acompañante), lo que indudablemente contribuye al aumento de las expulsiones de SO₂.

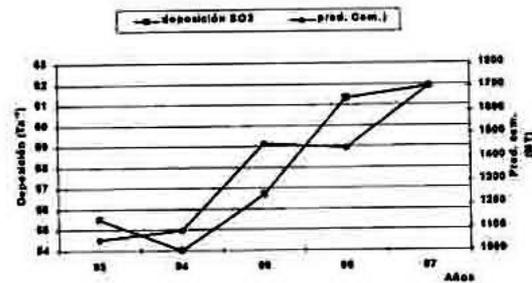


Fig. 4. Deposition SO₂ y producción de cemento anuales

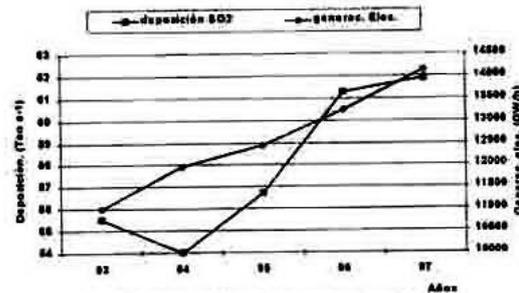


Fig. 5. Deposition SO₂ y Generación eléctrica anuales

La inclinación positiva en las tendencias actuales de la deposición seca del SO₂, identifica a este proceso como un importante factor de potenciación para la ocurrencia de impactos negativos en ecosistemas forestales, en particular para algunas zonas de Camagüey a Matanzas y en Pinar del Río, donde existen áreas cuya vulnerabilidad a la acidez ha sido probada (López, et al. 1998).

Este resultado indica además la necesidad de realizar estudios detallados que permitan conocer el comportamiento actual de la deposición a nivel de ecosistemas y sus consecuencias para especies específicas en los mismos.

Además, en toda el área inmediata al Oeste de la bahía de La Habana, de hecho expuesta a continuo riesgo de deterioro por la acción de sulfatos y cloruros dada su cercanía al mar, el aumento de la deposición de SO₂ constituye un factor de profundización de impactos negativos en edificaciones, esculturas y otras obras del patrimonio, en la actualidad no cuantificados material ni económicamente.

La deposición del azufre puede además contribuir en áreas de la propia bahía, donde abundan las estructuras metálicas, a la corrosión acelerada de las mismas, con impactos que deberán ser medidos para propiciar la elaboración de una adecuada estrategia de mitigación, lo que requiere como primer paso, la identificación de las fuentes responsables, así como de los procesos y variables de acción colateral.

Conclusiones

No obstante la determinación de bajas deposiciones para el SO₂ en condiciones regionales, sus actuales tendencias pueden conducir a la ocurrencia de impactos negativos en algunos ecosistemas en zonas desde Camagüey hasta Pinar del Río donde la vulnerabilidad a la deposición ácida ha sido demostrada.

Existen zonas urbanas donde la deposición representa también un importante factor de profundización de actuales efectos negativos provocados por la contaminación atmosférica.

La coincidencia de los resultados hallados con la reanimación de la actividad antrópica en los últimos años, permite considerar a las emisiones industriales como un factor determinante en el incremento de la deposición del SO₂ en el país.

Las emisiones de SO₂ desde las industrias ubicadas en torno a la bahía de La Habana, combinadas con la presencia de condiciones meteorológicas propicias, pueden provocar la aceleración de la corrosión y de diferentes materiales que conforman edificaciones y otras estructuras de valor en zonas al oeste de la ciudad, como La Habana Vieja, e incluso en el ámbito de la propia bahía.

Referencias

Hanneberg, P. (1993): Acidification and Air Pollution, Swedish Environment Protec. Agency, Sweden, 93 pp.

López Carlos, González M, Cuesta O, Sánchez P, Collazo A, Wallo A, Manso R, Imbert C, Morejon L.E, Moreno E. (1998): La Deposición Ácida Atmosférica a Nivel Regional en Cuba y Su Contribución al Riesgo de los Ecosistemas Terrestres. Ed: CIMAA. INSMET, La Habana Cuba.

Meyers T.P, Hicks B. B, Hosker R.P, Womack J.D and Satterfield L.C. (1991): Dry Deposition inferential techniques-II. Seasonal and annual deposition rates of sulphate and nitrate, Atmos. Environ., 25A, 2361-2370

Whelpdale, D. M.; Kaiser, M. S. (Eds) (1995): Global Acid Deposition Assessment. GAW No 106, WMO- TD No 777, 241 pp.

Rihm, B. (1994): Critical Loads of Acidity for Forest Soils and Alpine Lakes. Environmental Series No. 234, 68 pp Berne.

ABSTRACT

Annual dry deposition of sulfur dioxide during fourteen years is evaluated for different regions of Cuba, establishing a comparison between two different periods on the basis of their levels of industrial production. A general trend to the increase of deposition was observed, associated to levels of industrial activity. Summary deposition for the whole country was calculated for the period between 1993 - 1997, the findings showing great coincidence with the behavior of industrial activity. The actual trends of deposition in areas of the country sensitive to acidification, reveals this process as a very important factor for the occurrence of negative impacts in ecosystems, particularly from Camaguey to Matanzas and for Pinar del Rio besides some sectors in the city of La Havana.