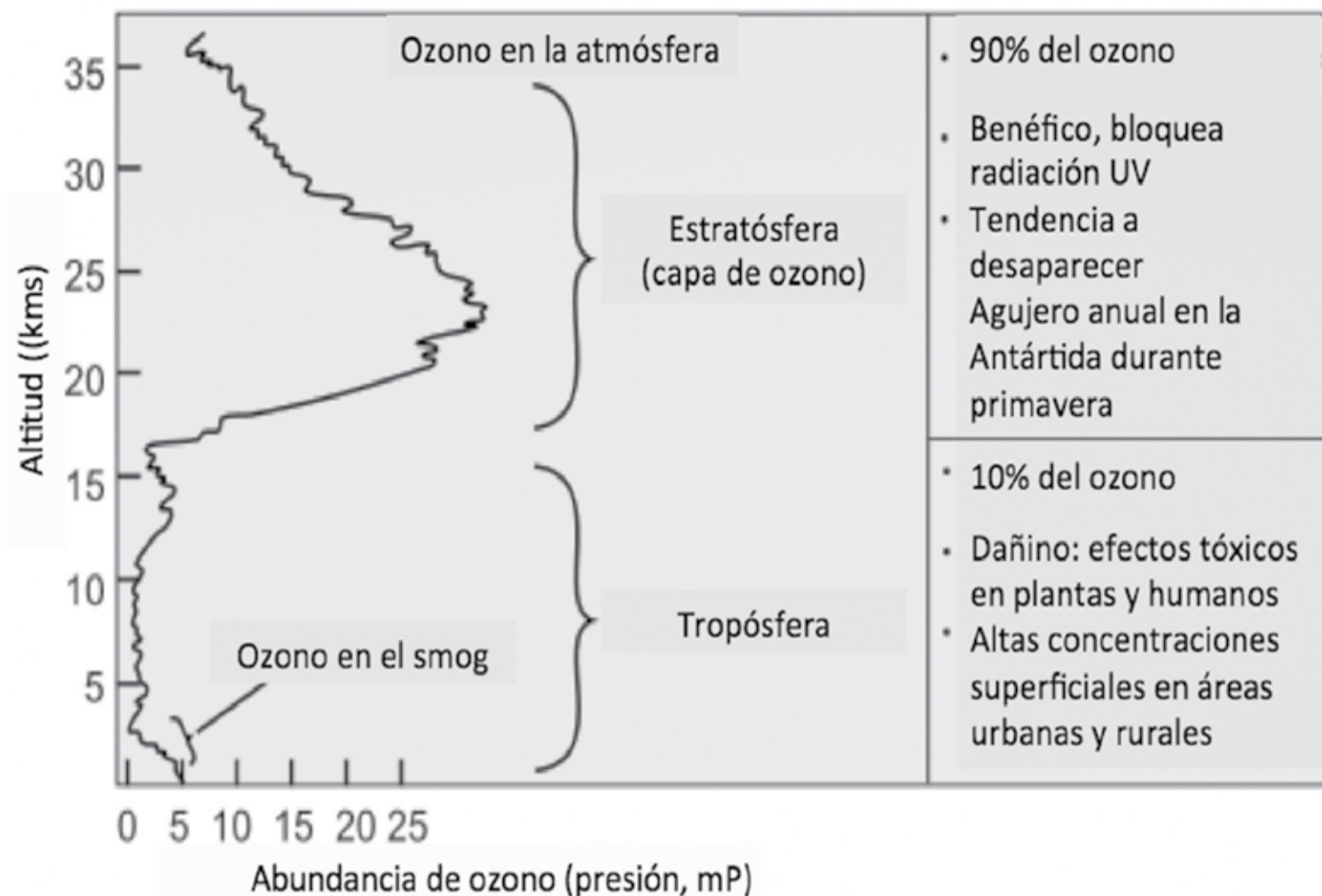


## Una falacia más del etanol como combustible



**Distribución del ozono en la atmósfera como función de la altitud o equivalentemente, de la presión parcial.**

Antonio Sarmiento Galán  
Instituto de Matemáticas de la UNAM  
Academia de Ciencias de Morelos

**A**l etanol se le ha alabado como un combustible más limpio que la gasolina para los vehículos automotores; sin embargo, un análisis de la calidad del aire muestra que cambiar el etanol por gasolina en São Paulo –debido a un cambio de precios en la mayor ciudad del hemisferio sur– condujo al inesperado resultado de disminuir la contaminación local debida al ozono.

El ozono troposférico –a nivel de la superficie terrestre– es un contaminante importante en el ambiente y ocasiona varios cientos de miles de muertes prematuras al año [1-3]; se origina cuando mezclas de compuestos orgánicos volátiles (abreviados como COVs) y óxidos de nitrógeno (abreviados como  $\text{NO}_x$ ) se ven expuestas a la radiación solar. La figura 1 muestra la distribución del ozono en la atmósfera.

El tránsito de vehículos automotores es una fuente clave de emisión tanto de COVs como de  $\text{NO}_x$ . Sin embargo, es difícil evaluar los impactos relativos de diversos tipos de combustibles sobre la calidad del aire, en particular, los supuestos méritos del etanol respecto de la gaso-

lina. Un estudio recientemente publicado [4], muestra que los niveles de ozono en São Paulo, Brasil, decayeron entre 2009 y 2011 cuando las fluctuaciones en el precio del etanol respecto de la gasolina llevó a un cambio a favor del uso de la gasolina (el precio de la gasolina en Brasil está controlado por el gobierno pero el del etanol fluctúa con el mercado).

Las emisiones de COVs  $\text{NO}_x$  varían considerablemente dependiendo del tipo de vehículo, del tipo de combustible o la mezcla de etanol y del estilo de manejo. En general, la quema de gasolina emite más  $\text{NO}_x$ , monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (como alcanos y compuestos aromáticos) que la quema de etanol, la cuál emite más compuestos orgánicos oxigenados como el acetaldehído y por supuesto, etanol [5-7].

Los modelos de química atmosférica proporcionan cierta perspicacia o intuición sobre la contribución de los distintos tipos de combustible a la producción de ozono troposférico; sin embargo, en el mundo real existen grandes incertidumbres en la suerte de las emisiones asociadas a cada combustible. Las principales incertidumbres están relacionadas con la simulación de la dispersión atmosférica y las transformaciones químicas de los contaminantes

emitidos que vuelven muy difícil la verificación de los resultados de los modelos mediante el uso de datos medidos [8-10]. En el estudio de São Paulo, estas incertidumbres se evitaron utilizando un enfoque exclusivamente empírico. Muchos de los vehículos (40% de los casi 6 millones de autos) tienen la capacidad de funcionar con cualquiera de los dos combustibles, mismos que durante el lapso 2009 a 2011 –por el elevado precio del etanol– sólo usaron gasolina (pasando de 336 mil a 1.824 millones de autos); si este cambio hubiese sido significativo, sus efectos podrían detectarse en los registros de la red de monitoreo de la calidad del aire en toda la ciudad, especialmente los efectos sobre la concentración de ozono y la de otros contaminantes superficiales. Para establecer una asociación entre ambos elementos (tipo de combustible y nivel de ozono) debe eliminarse primero la influencia de las variaciones normales semanales, estacionales y de mayor período, así como la de los cambios en algunas variables meteorológicas clave.

Una vez que se realizaron las correcciones necesarias correspondientes a estas variaciones, quedó claro que el reemplazo de etanol por gasolina estuvo acompañado por una disminu-

ción de un 20% en los niveles de concentración del ozono troposférico y un aumento concurrente en las concentraciones de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y monóxido de carbono (CO). Según los investigadores, la razón más probable para asociar la caída en la concentración de ozono con el aumento en el uso de gasolina es la inhibición de su formación por la elevada concentración de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y la poca disponibilidad de compuestos orgánicos volátiles (COVs) en São Paulo; en términos técnicos, se tiene que bajo presencia de fuertes concentraciones de óxidos de nitrógeno, éstos se combinan con los radicales hidroxilo, compuestos químicos atmosféricos de vida corta, anulando la capacidad que estos últimos tendrían en condiciones normales para reaccionar con el ozono y desaparecerlo de la tropósfera.

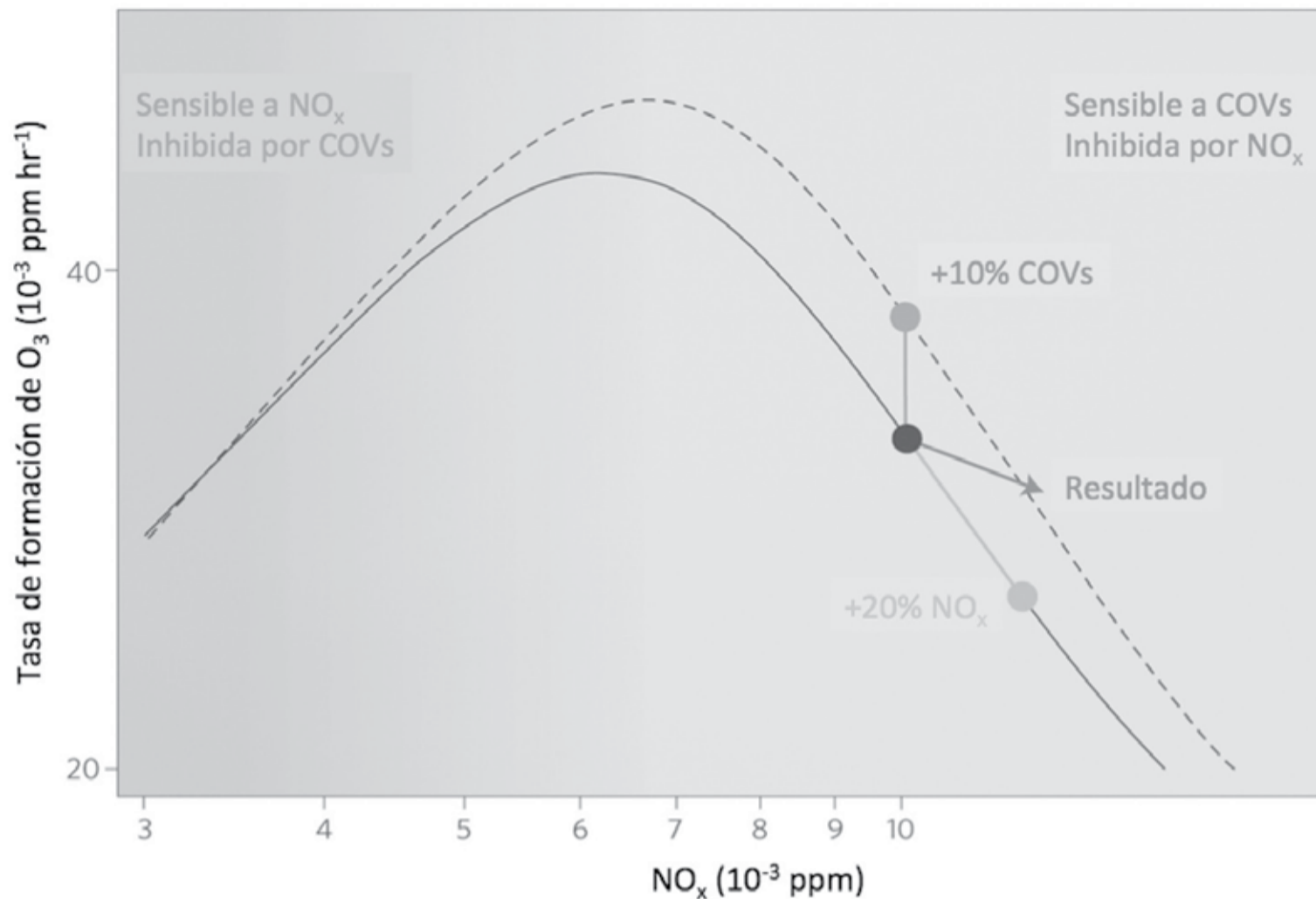
Como se puede observar en la figura 2, la tasa de crecimiento [11] de la concentración de ozono tiene un comportamiento no lineal que depende de las abundancias de  $\text{NO}_x$  y de COVs: inicialmente, para concentraciones bajas de  $\text{NO}_x$ , la tasa de formación de ozono crece linealmente conforme aumenta la concentración de  $\text{NO}_x$ . A concentraciones aún mayores, llega a un máximo y posteriormente

disminuye en forma asimétrica cuando las concentraciones de  $\text{NO}_x$  son muy elevadas (línea continua de la figura 2).

Mediante el uso de modelos teóricos [12], se ha obtenido que en medios caracterizados por elevadas concentraciones de  $\text{NO}_x$ , la formación de ozono se eleva con las emisiones de COVs (línea y punto verdes) y disminuye con las emisiones de  $\text{NO}_x$  (línea y punto amarillos). El problema es que existen incertidumbres en los modelos numéricos que impiden alcanzar conclusiones firmes en cuanto al control dominante de la química del ozono en una ciudad; la situación es particularmente oscura en ciudades que están siendo fuertemente influidas por compuestos orgánicos volátiles biogénicos provenientes de bosques o campos agrícolas, tales como el isopreno [3]. Estos compuestos disminuyen el cociente de óxidos de nitrógeno a compuestos orgánicos volátiles y desplazan la producción de ozono hacia el régimen limitado por los óxidos de nitrógeno (parte derecha de la figura 2).

El aumento en los niveles de óxidos de nitrógeno en forma simultánea con la disminución en los niveles de ozono que se detectó durante el lapso en que se substituyó etanol por gasolina en São Paulo, proporciona evidencia observacional sólida de que la formación de ozono en la ciudad está limitada principalmente por los compuestos orgánicos volátiles e inhibida por los óxidos de nitrógeno, en concordancia con algunas simulaciones vía modelos. Se trata de uno de los pocos estudios que proporcionan evidencia exclusivamente observacional del régimen de formación de ozono inhibido por los óxidos de nitrógeno; el resto de la evidencia observacional proviene de la documentación de un declive en la emisión de  $\text{NO}_x$  y COVs –sin disminución en los niveles de ozono– durante los fines de semana respecto a los días laborales, un fenómeno que se observa en muchas ciudades [13,14].

Debe mencionarse que esta evidencia no puede tomarse como indicativa de que un cambio de etanol a gasolina mejore por sí la calidad del aire. Gran parte del ozono no generado fue substituido por bióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), que también es un compuesto químico regulado y casi tan nocivo como el ozono: si estas parcelas de aire urbano, ricas en óxidos de nitrógeno, se mezclan con el aire suburbano regional, se pueden producir grandes cantidades de ozono en áreas mucho mayores localizadas fuera del área urbana en la dirección del vien-



Tasa de formación de ozono como función de la concentración de óxidos de nitrógeno. La línea punteada muestra cómo se modifican los resultados al añadir 10% de compuestos orgánicos volátiles. Los puntos del lado izquierdo de la gráfica ilustran el efecto de aumentar simultáneamente la concentración de COVs y de  $NO_x$  cuando la concentración de éstos últimos es alta.

to ciudadano. Adicionalmente, el ozono es sólo uno de los componentes del smog fotoquímico urbano; otro ingrediente clave lo constituyen las partículas suspendidas, responsables de una considerable fracción de los problemas en salud [1,2] y principalmente compuestas por aerosoles orgánicos secundarios, producto de reacciones fotoquímicas entre los compuestos orgánicos volátiles, los óxidos de nitrógeno y el ozono. Si bien la producción de aerosoles orgánicos secundarios aumenta conforme aumenta la concentración de ozono, también lo hace con una mayor presencia de compuestos orgánicos volátiles más pesados, como los emitidos por la combustión de gasolina. Es probable entonces que el cambio de etanol a gasolina estimu-

le la producción de aerosoles orgánicos secundarios. Lo que muestra el estudio de São Paulo es que bajo las condiciones ahí presentes –típicas de zonas urbanas con tránsito vehicular propulsado por etanol– el cambio de etanol a gasolina ha disminuido la concentración de ozono en la tropósfera, terminando así con el mito de la supuesta ventaja –limpieza– del etanol respecto de la gasolina. El efecto neto de tal cambio en los niveles de contaminación del aire bajo condiciones más generales, permanece aún poco claro. Por ejemplo, las condiciones de la contaminación urbana en Norteamérica pueden ser distintas debido a que el etanol se obtiene a partir del maíz y sólo se mezcla en un 10% con gasolina (E10) –a diferencia

del brasileño que proviene de la caña de azúcar y casi no se mezcla (E100). Adicionalmente, el estudio muestra que la respuesta de un contaminante muy tóxico (ozono) a cambios en el uso de combustibles puede estimarse directa y exclusivamente a partir de observaciones, en una forma independiente de las numerosas suposiciones hechas por los modelos de química atmosférica. Este análisis empírico debe considerarse como un preciado estándar en el tipo de análisis necesario para evaluar la confiabilidad de los modelos de química atmosférica diseñados para simular los efectos del sector transporte en la calidad del aire.

En el caso de Norteamérica, la situación presenta otra complicación más: la Academia Nacio-

nal de Ciencias de Estados Unidos mostró que las fuentes de energía utilizadas para producir el etanol –combustibles fósiles– y la cantidad de suelo dedicado al cultivo de maíz para tal efecto –40% del maíz cultivado se dedica a la producción de etanol– hacen que el uso de etanol sea una medida ineficiente para la reducción de gases de efecto invernadero –los causantes del calentamiento global. Debido a ello, el subsidio a la producción de etanol será desechado a partir del mes de julio del 2015 y se impondrá un impuesto a su producción de 2.5 centavos de dólar por litro a partir del mismo mes de 2016 (el impuesto actual a la importación de etanol seguirá igual, 38 centavos de dólar por litro y para la producción de biodiesel se impon-

drán impuestos similares a los del etanol).

#### Notas

1. Lim, S. S. et al. Lancet 380, 2224–2260 (2011).
2. OECD OECD Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction (2012); disponible via <http://go.nature.com/s2EFZX>
3. Sarmiento Galán, A. En el Volcán, Núm. 20. Abril de 2013, pags. 6-10. Cuernavaca, Morelos. México. <http://enelvolcan.com/abr2013/241-ivision-nueva-o-vision-correcta-y-a-largo-plazo-huexca-y-los-riesgos-ocultos-de-las-plantas-termo-electricas>; ibídem, Núm. 29. Enero-Febrero de 2014, pags. 5-8. <http://enelvolcan.com/enefeb2014/318-un-elemento-mas-para-cuestionar-el-proyecto-de-huexca-en-morelos-los-riesgos-ocultos-del-gas-natural>
4. Salvo, A. & Geiger, F. M. 2014 Nature Geosci. <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo2144>
5. Niven, R. K. Renew. Sust. Energ. Rev. 9, 535–555 (2005).
6. Graham, L. A., Belisle, S. L. & Baas, C-L. Atmos. Environ. 42, 4498–4516 (2008).
7. Masum, B. M. et al. Renew. Sust. Energ. Rev. 24, 209–222 (2013).
8. Jacobson, M. Z. Environ. Sci. Technol. 41, 4150–4157 (2007).
9. Nopmongkol, U. et al. Atmos. Environ. 45, 7330–7340 (2011).
10. Anderson, L. G. Energy Environ. Sci. 2, 1015–1037 (2009).
11. Hess, P. & Madronich, S. J. Geophys. Res. 102, 15949–15965 (1997).
12. Dimitriadis, B. Environ. Sci. Tech. 6, 253–260 (1972).
13. Stephens, S. et al. Atmos. Chem. Phys. 8, 5313–5325 (2008).
14. Pollack, I. B. et al. J. Geophys. Res. 117, D00V05 (2012).

Para actividades recientes de la Academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)

La Unión  
DE MORELOS

Av. Vicente Guerrero 777, colonia Tezontepec  
Cuernavaca • Morelos

#### Para solicitar

suscripciones, información de tarifas,  
eventos sociales y demás



#### MARQUE

los teléfonos

311 • 46 • 31 al 34.

#### También

estamos en:

[www.launion.com.mx](http://www.launion.com.mx)

