

Mario Molina-Pasquel

**EL IMPACTO
DE LAS
ACTIVIDADES HUMANAS
EN LA ATMÓSFERA**

DISCURSO DE INGRESO

JOSÉ SARUKHÁN
RESPUESTA



COLEGIO NACIONAL

EL IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS
EN LA ATMÓSFERA

Mario Molina-Pasquel

**EL IMPACTO
DE LAS
ACTIVIDADES HUMANAS
EN LA ATMÓSFERA**

DISCURSO DE INGRESO

JOSÉ SARUKHÁN

RESPUESTA



EL COLEGIO NACIONAL

México, 2003

Coordinadora editorial: Rosa Campos de la Rosa
Primera edición: 2003

D. R. © 2003 EL COLEGIO NACIONAL
Luis González Obregón núm. 23, Centro Histórico
C. P. 06020, México, D. F.
Teléfonos 57 02 24 48 • 57 02 18 63 Fax 57 02 17 79

ISBN: 970-640-230-6

Impreso y hecho en México
Printed and made in Mexico

Correo electrónico: colnal@mail.internet.com.mx
Página: <http://www.colegionacional.org.mx>

PALABRAS DE SATULACIÓN Y BIENVENIDA
Adolfo Martínez Palomo

Para El Colegio Nacional es motivo de profunda satisfacción dar la bienvenida esta noche al doctor José Mario Molina-Pasquel. Hoy recibe reconocimiento y adquiere, al mismo tiempo, compromiso por engrandecer con su saber la cultura del país.

Poco después de obtener su doctorado en la Universidad de California en Berkeley publicó un artículo en la revista inglesa *Nature*, en 1974, en el que predijo el adelgazamiento de la capa de ozono, como consecuencia de la emisión de ciertos gases

industriales, los clorofluorocarburos. El doctor Molina-Pasquel, Premio Nobel en Química y profesor del Instituto Tecnológico de Massachusetts identificó y refinó las propiedades de compuestos que juegan un papel esencial en la descomposición del ozono de la estratosfera.

El ozono, contaminante temido en las aglomeraciones urbanas es, paradójicamente, elemento indispensable para la vida en nuestro planeta. La concentración normal de ozono en la atmósfera que rodea a la Tierra es muy pequeña; existen tan sólo tres moléculas del gas por cada diez millones de moléculas de aire.

La mayor parte se concentra en la estratosfera, unos 15 a 30 kilómetros por encima de la superficie terrestre. Si todo el ozono de la atmósfera fuera comprimido a presión atmosférica, formaría una banda de solamente tres milímetros de grosor.

A pesar de ser tan escaso, el ozono es indispensable, ya que absorbe radiación solar dañina antes de que ésta llegue a la Tierra.

Esa radiación es la luz ultravioleta de tipo B, que al romper el ADN de las células causa cáncer y envejecimiento prematuro de la piel, cataratas y otras alteraciones oculares y también modificaciones en el funcionamiento normal del sistema inmunológico. Por si fuera poco, esta radiación afecta el crecimiento de las plantas, reduce la supervivencia del fitoplancton y acarrea trastornos en los ecosistemas marinos. Finalmente, la radiación ultravioleta acelera la destrucción de los polímeros sintéticos y de biopolímeros.

Haber encontrado explicación científica al adelgazamiento de la capa de ozono, haber alertado a la comunidad académica, haber convencido a las organizaciones nacionales e internacionales de tomar medidas para proteger a la Tierra de estos efectos y haber librado con éxito batallas contra poderosos intereses industriales son algunos de los méritos del doctor Molina-Pasquel.

A nombre de los miembros de El Colegio Nacional le doy una calurosa bienvenida.

Bienvenida que quiere expresar, a la vez, nuestra complacencia por su llegada a esta casa de cultura y nuestro deseo de que su estancia sea venturosa al encontrar aquí el foro adecuado para comunicar sus conocimientos a nuestra sociedad.

EL IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS
EN LA ATMÓSFERA

Mario Molina-Pasquel

Señor secretario de Educación Pública,
Señores rectores,
Muchas gracias doctor Martínez Palomo
por sus palabras.

También quiero agradecerles a los miembros de El Colegio Nacional, muchos de ellos amigos muy queridos, el que me hayan aceptado en esta institución tan distinguida, para mí es realmente un gran honor el participar en esta ceremonia de ingreso a El Colegio Nacional.

EL IMPACTO DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS EN LA ATMÓSFERA

Voy a empezar presentando una breve perspectiva de los problemas relacionados con el medio ambiente que enfrenta nuestra sociedad en este siglo XXI (figura 1).

Hay ciertos problemas ambientales que tradicionalmente se han considerado locales o regionales, tales como la degradación del suelo, la deforestación, la sobreexplotación de los recursos marinos, la contaminación del agua, la contaminación del aire y la acumulación de residuos sólidos y peligrosos. La preocupación que tenemos es que en años recientes algunos de estos problemas han empezado a adquirir proporciones globales, pues aunque sean locales en principio, están sucediendo ya en muchas partes del mundo.

Principales retos ambientales para el siglo XXI

- **Agotamiento de Recursos Naturales:**

- Degradación del suelo
- Deforestación
- Pérdida de biodiversidad
- Sobreexplotación de los recursos marinos

- **Disposición de residuos sólidos y peligrosos**

- **Contaminación del agua**

- **Contaminación del aire**

- **Cambios globales en la composición química de la atmósfera:**

- Efecto Invernadero
- Destrucción de la capa de ozono de la estratósfera
- Incremento del ozono troposférico

Figura 1

PROBLEMAS AMBIENTALES GLOBALES

Existe también otro tipo de problemas ambientales que son fundamentalmente globales, y que están relacionados con la atmósfera, como el del cambio climático y el de la destrucción de la capa de ozono de la estratosfera. A continuación voy a presentar un panorama de estos problemas globales. Quiero apuntar que están muy relacionados entre sí, y que además tienen conexiones importantes con los problemas “locales” a los que me referí con anterioridad. Por ejemplo, la deforestación tiene consecuencias indeseables como la pérdida de biodiversidad, pero también tiene efectos muy significativos para el cambio de clima de nuestro planeta.

¿Cómo es posible que las actividades humanas tengan efectos globales, si desde el punto de vista de un individuo nuestro planeta es inmenso? La figura 2 es una fotografía de la Tierra, en la cual podemos apreciar el tamaño de la atmósfera, que por sí misma no es visible, excepto por la



Figura 2

presencia de las nubes. Más del 95 por ciento de la masa de la atmósfera está contenida en los primeros 20 kilómetros por arriba de la superficie terrestre. Por otro lado, la distancia entre los dos polos es de 20 000 kilómetros. La atmósfera funciona, pues, como una piel muy delgada que rodea a nuestro planeta. Es por eso que desde un punto de vista cósmico es tan vulnerable, y es por eso que las actividades humanas pueden tener efectos globales tan importantes.

Esta delgada capa atmosférica es muy dinámica. Sus vientos son suficientemente intensos para mezclar el aire dentro de cada hemisferio en una escala de tiempo de unos cuantos meses. El tiempo de mezclado entre los dos hemisferios es del orden de año y medio. Así pues, si se emiten contaminantes en cualquier parte del globo, estarán presentes en la atmósfera de todo el planeta en cuestión de uno o dos años, si es que persisten en la atmósfera por ese período de tiempo.

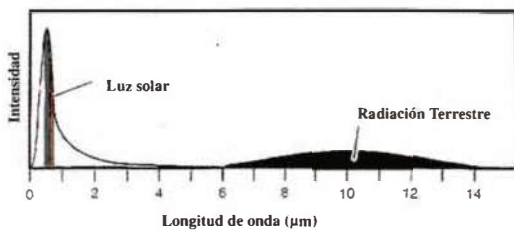
Por fortuna, la atmósfera tiene mecanismos eficientes para limpiar contaminantes. Las nubes y la lluvia representan el mecanismo más eficaz: eliminan en una escala de tiempo de días o semanas a los compuestos solubles en agua y a una fracción importante de las partículas suspendidas. Los gases insolubles en agua, como los hidrocarburos, primero reaccionan en la atmósfera con ciertos compuestos oxidantes, generando productos solubles en agua que subsecuentemente son eliminados por la lluvia con gran rapidez. El proceso de oxidación puede durar horas, meses o años, dependiendo de la estabilidad química del compuesto.

CAMBIO CLIMÁTICO

Consideremos ahora el problema del cambio climático, esto es, del llamado “efecto invernadero.” El balance térmico de nuestro planeta funciona de tal manera que la cantidad neta de energía que recibe

la Tierra del Sol es la misma que la que pierde al espacio; esto es, nuestro planeta no acumula energía. La recibimos principalmente en forma de radiación visible; nuestra visión evolucionó para ser sensible a ese tipo de radiación. Por otro lado, la Tierra pierde energía emitiendo radiación en la longitud de onda infrarroja, que es invisible. El problema es que los cambios en la composición química de la atmósfera ocasionados por las actividades de la humanidad están afectando a las propiedades de esta emisión en el infrarrojo, y consecuentemente al balance térmico del planeta. La figura 3 es una representación de la cantidad de energía involucrada en este balance térmico en función del color, esto es, de la longitud de onda de la radiación.

Esta figura también presenta una serie de ecuaciones que fueron históricamente muy importantes para el desarrollo de la física moderna y que tuvieron un impacto enorme en el progreso de la ciencia. Se descubrieron a principios del siglo pasado y están asociadas con nombres muy pro-



$$E = h\nu$$

$$\text{Flujo de energía} = \sigma T^4$$

$$\nu = c/\lambda$$

$$\text{Densidad de energía} = \frac{2\pi h \nu^3/c^2}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

Figura 3

minentes, tales como Albert Einstein y Max Plank. Resulta que esas mismas ecuaciones permiten calcular cuál debería de ser la temperatura promedio de nuestro planeta, tomando en cuenta su color y la distancia a la que estamos del Sol. El resultado es que la Tierra debería tener una temperatura promedio de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Si eso fuera cierto tendríamos problemas, pues los océanos estarían congelados y la vida no habría evolucionado como la conocemos hoy en día.

Podemos comprobar la veracidad de esas predicciones si examinamos qué es lo que pasa en la Luna (figura 4), que en promedio está a la misma distancia del Sol que la Tierra. Efectivamente, la Luna en promedio está a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lo que sucede es que en la parte que le toca el Sol está a más de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en la parte oscura a menos de $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Esta observación nos indica claramente la importancia de la atmósfera. En nuestro planeta ocasiona que la temperatura sea mucho más uniforme que en la Luna. Pero sucede además lo siguiente: estos cálculos



Figura 4

sencillos mencionados en los párrafos anteriores nos dan la temperatura correctamente, pero no es la temperatura de la superficie del planeta, y ésta es la más importante para nosotros, toda vez que es allí donde vivimos. Esa temperatura promedio corresponde a una altura de alrededor de 6 o 7 kilómetros por arriba de la superficie terrestre, que efectivamente es de alrededor de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. La temperatura promedio en la superficie de nuestro planeta es $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. La diferencia de temperaturas de -18 a $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$, esto es, $33\text{ }^{\circ}\text{C}$, se debe a la presencia en la atmósfera de ciertos gases, los llamados “gases invernadero”, que absorben parte de la radiación infrarroja emitida por el planeta. Así pues, el “color” de la atmósfera en el infrarrojo tiene como resultado que funcione como una manta que protege y calienta al planeta. Esta manta es prácticamente transparente a la mayor parte de la energía que nos llega del Sol, que es en forma de luz visible, excepto por las nubes, que siendo blancas reflejan al espacio cierta fracción de esa energía solar. Así

pues, el hecho de que el aire sea transparente en el visible pero no en el infrarrojo es lo que ocasiona el efecto invernadero.

Es interesante examinar estas ideas enfocando nuestra atención en el planeta Venus. La figura 5 es una fotografía de este planeta en el ultravioleta; en el visible Venus es totalmente blanco, mientras que en el ultravioleta podemos darnos cuenta de la existencia de nubes en ese planeta. Lo que es interesante es que esas nubes tan abundantes reflejan la energía del Sol tan eficientemente, que el resultado es que la cantidad de energía solar absorbida por Venus es menor que la cantidad absorbida por la Tierra, a pesar de que Venus está más cerca del Sol. Sin embargo, la temperatura en la superficie del planeta Venus es de alrededor de 470 °C, mucho más caliente que la de nuestro planeta, y esto se debe a que la atmósfera de Venus es más densa, pues consiste de bióxido de carbono a alta presión que absorbe radiación infrarroja con gran eficacia. Es por eso que Venus tiene un efecto invernadero

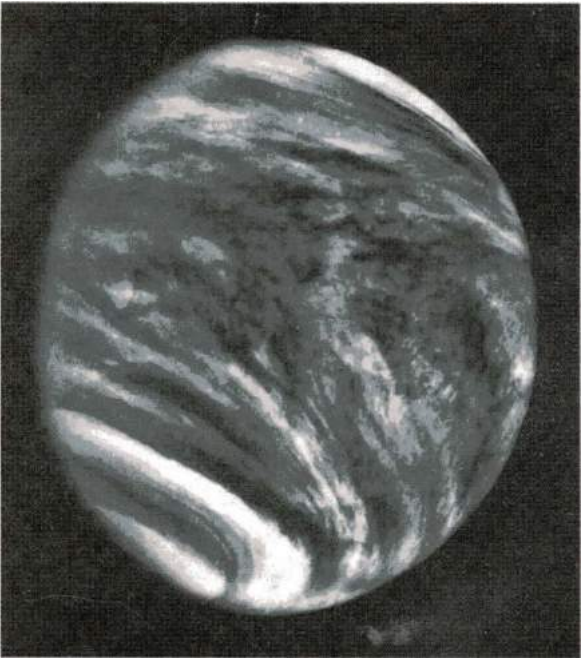


Figura 5

muy exagerado, por lo que su alta temperatura no podría soportar el tipo de vida que conocemos aquí en la Tierra. Estas consideraciones nos demuestran la importancia de la composición química de la atmósfera para mantener la temperatura que tenemos en la superficie de nuestro propio planeta.

Apunto que además del bióxido de carbono hay otro gas invernadero muy importante en nuestra atmósfera, el vapor de agua, que también absorbe muy eficientemente radiación infrarroja. El vapor de agua y el bióxido de carbono son los gases responsables de la diferencia de temperatura de 33 °C que llamamos efecto invernadero.

La figura 6 muestra lo que sucede con el bióxido de carbono en la Tierra. Ahí puede apreciarse cómo varían las concentraciones de bióxido de carbono en las distintas épocas del año, lo que llamamos el pulso del planeta. En el hemisferio norte, que es donde están concentradas las masas continentales, hay variaciones muy pro-

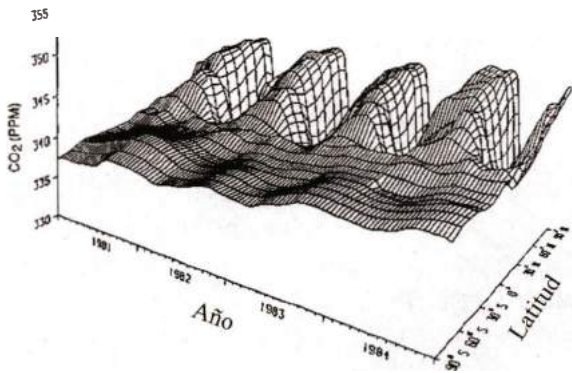


Figura 6

nunciadas entre el verano y el invierno. Son menores en el hemisferio sur, donde hay menor masa continental. Esto se debe a que el bióxido de carbono es biológicamente activo: se produce por la respiración y se consume por la fotosíntesis.

La biología ha tenido una influencia tremenda en la composición química de la atmósfera de nuestro planeta; la presencia misma del oxígeno se debe a la vida, y estos cambios en el bióxido de carbono también son consecuencia de la vida.

La figura 7 muestra mediciones históricas del bióxido de carbono en el hemisferio norte y en el hemisferio sur, desde los años cincuenta hasta los años setenta. Lo que se ve muy claramente es el aumento en su concentración en ese período de tiempo. Podemos establecer con toda claridad que ese aumento es consecuencia de actividades humanas: es el resultado de la combustión de productos como el petróleo, esto es, de combustibles fósiles. Aproximadamente la mitad del bióxido de carbono que se ha emitido desde la Revolución In-

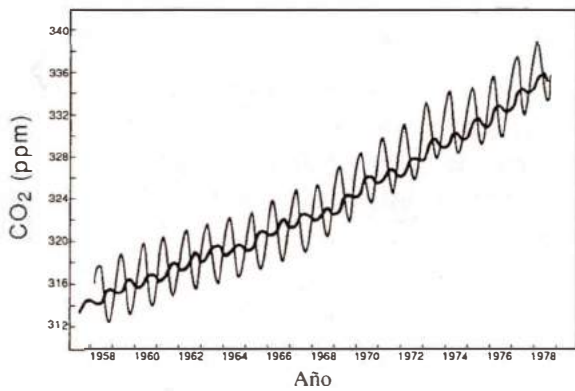


Figura 7

dustrial ha permanecido en la atmósfera, y la otra mitad se ha absorbido en los distintos depósitos de carbono que tiene el planeta, ya sea en los continentes o en los océanos. Hay incertidumbre en la predicción de cuál va a ser la capacidad del sistema terrestre para seguir absorbiendo bióxido de carbono, si lo continuamos emitiendo con la misma intensidad en que lo venimos haciendo hasta el presente.

En la figura 8 vemos con más claridad qué es lo que le está pasando a la composición química de la atmósfera, considerando una escala de tiempo más larga, empezando en el año 1000 y continuando hasta el 2000. Es posible, por cierto, deducir cuáles fueron las concentraciones de varios gases en siglos anteriores midiendo la cantidad que existe en burbujas de aire atrapadas a distintas profundidades en el hielo de los polos. En la figura se ve que sólo en el último siglo se ha disparado la concentración del bióxido de carbono, coincidiendo con el desarrollo de la Revolución Industrial.

Indicadores de la influencia humana en la atmósfera

Concentraciones atmosféricas globales de gases invernadero

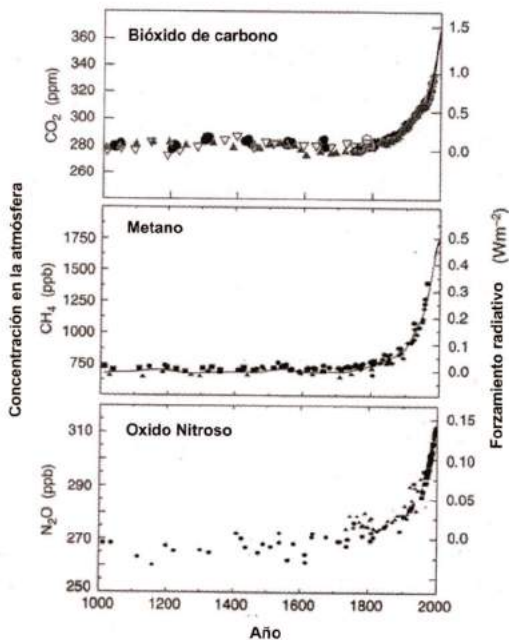


Figura 8

Lo mismo está sucediendo con el metano. Sabemos que el aumento en la concentración del metano es producto indirecto de las actividades humanas. Este gas se genera por fermentación microbiana en condiciones anaeróbicas, esto es, en ausencia de oxígeno. Estas condiciones se encuentran, por ejemplo, en los arrozales, que están inundados por agua, y en los aparatos digestivos de los rumiantes, como las vacas. Así pues, la producción de arroz y el ganado indirectamente son los principales responsables del aumento reciente en la concentración del metano. Así mismo, las concentraciones de óxido nitroso están relacionadas entre otras cosas con el uso de fertilizantes sintéticos.

La expresión “efecto invernadero” se refiere, pues, al fenómeno natural de un aumento de temperatura de 33 °C con respecto a la que habría de no existir vapor de agua y bióxido de carbono en la atmósfera. Sin embargo, normalmente se usa la expresión “efecto invernadero” específicamente para describir el cambio de clima relacionado con las actividades humanas.

Hay otra observación muy interesante, que es el comportamiento de la temperatura en la superficie de la Tierra en el último milenio, representado en la figura 9. En siglos anteriores no había mediciones directas de temperatura, pero hay manera de inferir esa temperatura midiendo, por ejemplo, el espesor de los anillos en árboles o la dimensión de las capas anuales de hielo que se acumulan en los polos. En la figura vemos cómo se dispara la temperatura también en años muy recientes. La temperatura aumentó con toda claridad sobre todo en las dos últimas décadas del siglo pasado, de una manera que no es la que esperaríamos de acuerdo con las tendencias del resto del milenio.

La comunidad científica internacional está de acuerdo en que las observaciones que he comentado hasta este momento representan hechos: cabe poca duda de que está aumentando la temperatura y de que están aumentando las concentraciones de los gases invernadero.

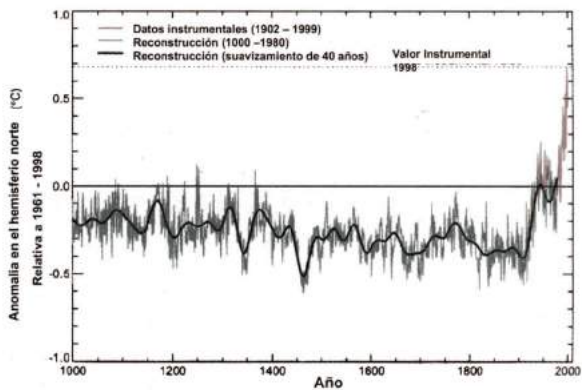


Figura 9

Existe un grupo científico internacional, el llamado Panel Intergubernamental de Cambio Climático, establecido por las Naciones Unidas, cuyo objetivo es formar un consenso sobre los hechos, las teorías y las predicciones respecto de lo que ocurrirá en este siglo con el clima de nuestro planeta. Las figuras 8 a la 11 nos muestran los resultados de un estudio reciente de este Panel Intergubernamental.

La línea roja en la figura 10 representa los mismos cambios de temperatura indicados en la figura 9, y la línea gris representa los resultados de simulaciones hechas con modelos matemáticos del clima del planeta. El diagrama de la izquierda presenta cálculos que no toman en cuenta las emisiones de gases invernadero de origen humano, y en el de la derecha sí se toman en cuenta esas emisiones. Es solamente en este último caso en el que concuerdan los cálculos con las observaciones.

Fue evidencia de este tipo la que llevó al Panel Intergubernamental a la conclusión de que es muy probable que estos cambios

Simulación de las temperaturas de la superficie terrestre

Promedios anuales globales

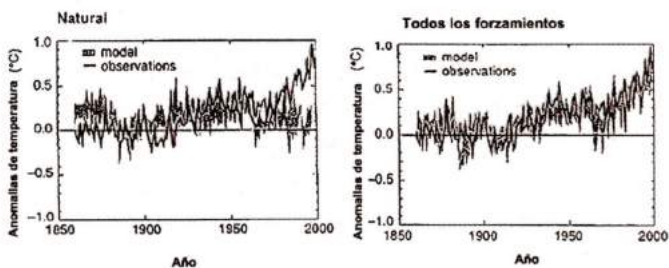


Figura 10

de temperatura recientes a los que nos hemos referido estén conectados con las actividades humanas. No existe la certeza absoluta, pero sí hay una alta probabilidad de que ése sea el caso.

Si aceptamos ese postulado, podemos hacer predicciones, esto es, podemos calcular cuánto más va a aumentar la temperatura en los años venideros, suponiendo una serie de escenarios que representen distintos tipos de actividades de la sociedad. Uno de los posibles escenarios es que se continúe emitiendo bióxido de carbono durante el presente siglo con la misma tendencia que se estableció en el siglo pasado.

Hay otras posibilidades, por ejemplo que la sociedad reaccione estableciendo límites a las cantidades que se emitan de bióxido de carbono y de otros gases invernadero como el metano. La figura 11 presenta los resultados de cálculos que corresponden a todo un rango de predicciones. Algunas son muy preocupantes, porque involucran cambios de temperatura hacia

Variaciones de la temperatura de la superficie de la Tierra Año 1000 al 2100

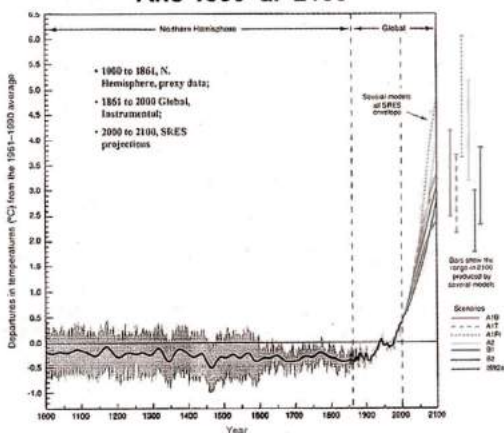


Figura 11

finales de este siglo que empiezan a ser del mismo orden de magnitud que los cambios que ha habido entre una época glacial y una interglacial. Aunque cuatro o cinco grados Celsius parezcan muy poca cosa, estamos hablando de un cambio en el promedio de la temperatura global, y eso es lo que es alarmante. Los cambios de temperatura cerca de los polos podrían alcanzar más de diez grados. Además, las variaciones con las estaciones podrían intensificarse —más calor en el verano y más frío en el invierno.

Estas conclusiones están basadas en observaciones experimentales y en el análisis del Panel Intergubernamental de Cambio Climático. La figura 12 presenta los resultados de predicciones de cambios de temperatura en el siglo XXI hechas por un grupo de la institución donde trabajo, el Instituto Tecnológico de Massachusetts. Lo interesante de este estudio es que también toma en cuenta desde un punto de vista realista modelos de la economía, esto es, cómo va a desarrollarse la economía mun-

Cambios de Temperatura Plausibles durante el Siglo XXI

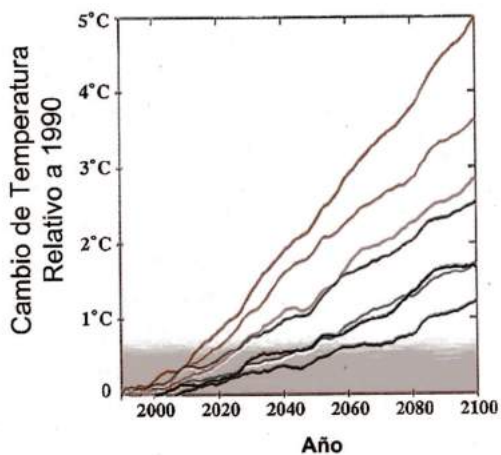


Figura 12

dial en este siglo. Las líneas presentadas en la figura representan distintos escenarios: todas son plausibles, y no podemos saber cuál será la que nuestro planeta vaya a seguir. La zona amarilla en la figura es una indicación de lo que se estima como variación natural de temperatura.

El problema es el siguiente: si estamos en la línea verde, habrá un cambio de clima que quizá será mayor que las variaciones naturales, pero probablemente la sociedad se pueda adaptar a ese cambio sin gran problema, de manera que no es muy preocupante esta hipótesis.

Por contraste, con la línea roja hay cambios de 5 °C que sí tendrían consecuencias muy importantes, tales como cambios en el sistema hidrológico, esto es sequías e inundaciones, que a su vez afectarían a la productividad agrícola. Esos cambios de clima ocurrirían en una escala de tiempo muy breve desde el punto de vista geológico, demasiado rápida para permitir la adaptación de muchos sistemas ecológicos. El nivel del mar podría subir alrededor

de un metro, lo que tendría consecuencias desastrosas para muchas comunidades costeras. Algunas consecuencias podrían ser positivas, como por ejemplo una mayor duración de las temporadas favorables a la agricultura a altas latitudes, pero, en el balance, el cambio climático sería altamente preocupante.

RESPUESTA DE LA SOCIEDAD AL PROBLEMA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

¿Qué podemos hacer, pues, en vista de esta situación? No sabemos cuál de las líneas de la figura 12 es la que vamos a seguir. Lo que podemos hacer es considerar probabilidades: ¿Qué tan probable es que estemos en la línea roja, o en la línea verde? De acuerdo con mis colaboradores del MIT, la probabilidad mayor, dados los conocimientos que tenemos, es que estemos quizás por el medio, pero hay una probabilidad muy seria, quizá de una parte en treinta, de que estemos en la línea roja;

tal vez de una parte en cuatro de que este-
mos en la amarilla.

La pregunta que se hace uno es si la sociedad debe o no responder a esta situación. La respuesta no está claramente dentro del campo de la ciencia, pero lo que podemos hacer como científicos es presentar estos resultados probabilísticos. ¿Pero cuáles deberán ser las acciones de la sociedad, tomando en cuenta las incertidumbres?

Por un lado, los modelos de la economía son todavía más imperfectos que los modelos puramente climáticos, que son a su vez muy complicados. Hay, pues, grandes incertidumbres en cuanto a cuál será el impacto económico en la sociedad mundial de tomar o no tomar ciertas medidas. Por otro lado, para opinar cómo debe responder la sociedad es necesario tomar en cuenta juicios de valor: ¿Qué tan dispuestos estamos a arriesgar el clima y la economía del futuro?

Podemos opinar como individuos, aunque seamos científicos. Y en mi opinión

personal no deberíamos tomar riesgos de consecuencias tan alarmantes para nuestro planeta. Aunque no tengamos la certeza de que esas consecuencias se vayan a materializar, normalmente no tomamos esos riesgos si la probabilidad es de uno en veinte o treinta. Por ejemplo, en nuestras acciones en respuesta a la posibilidad de adquirir enfermedades contagiosas, consideramos que un riesgo de uno en mil es altísimo. Nuestra responsabilidad como científicos es comunicarle a la sociedad los riesgos que enfrentamos, aclarando además cuáles son las incertidumbres y cuáles son nuestras opiniones personales.

CALIDAD DEL AIRE

A continuación haré referencia a otro problema relacionado con cambios en la composición química de la atmósfera, al que nos referimos como el problema de la calidad del aire. Fue en la ciudad de Los Ángeles donde primero se descubrió la

naturaleza de lo que llamamos el *smog*, en los años cincuenta. Lo que sabemos hoy es que los ingredientes para producir esta degradación tan clara de la calidad del aire son los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos. Éstos son precisamente los compuestos emitidos al quemar combustibles fósiles ya sea para usos industriales o para el transporte con vehículos de motor de combustión interna. Además, ese mismo tipo de actividades genera bióxido de carbono, uno de los gases invernadero.

La ciudad de México, donde nací yo, era la ciudad más contaminada del mundo hasta hace relativamente poco. Por fortuna, sabemos que la situación ya cambió: el gobierno de México ha tomado medidas para bajar muy drásticamente las concentraciones de plomo, quitándole el plomo a la gasolina, y también reduciendo el monóxido de carbono mediante el uso de convertidores catalíticos en los automóviles. Pero el ozono y las partículas suspendidas, los ingredientes más importantes del *smog*, son mucho más difíciles de con-

trolar. Así pues, todavía hay un problema muy serio de contaminación de aire en la ciudad de México. Uno de nuestros proyectos consiste en un estudio sobre este problema que estamos llevando a cabo en colaboración con colegas tanto del gobierno en México, a través de la Comisión Ambiental Metropolitana, y de la comunidad científica de México y de Norteamérica.

Hay muchas ciudades en el mundo que hoy en día están más contaminadas que la ciudad de México. Sabemos que los efectos de la contaminación del aire en la salud son serios, que la presencia del ozono aumenta la incidencia de las enfermedades respiratorias, y que la presencia de partículas suspendidas aumenta inclusive la mortalidad. Así pues, hay una gran cantidad de gente en el mundo que está expuesta a un aire que no tiene una calidad aceptable.

La población mundial se está concentrando cada vez más en las ciudades, y hay ya tantas ciudades grandes que el problema de la calidad del aire ya no es solamente

local, sino regional. Además, si sumamos el problema de la contaminación urbana al de la contaminación que es consecuencia de la quema de biomasa y de bosques, nos damos cuenta de que el problema está adquiriendo proporciones globales. Al igual que la combustión de gasolina, la combustión de biomasa genera óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, que a su vez producen el *smog*. El humo producido por los incendios forestales contiene hollín; el mismo tipo de hollín que generan, por ejemplo, los motores a diesel. Y lo que sucede es que la quema de biomasa y de bosques está sucediendo en una escala alarmante, sobre todo en los trópicos.

La figura 13 es una fotografía de satélite en la que se puede observar el humo producido por los incendios forestales que hubo en México en 1998. Por un lado, cuando hay quemas de bosques en gran escala se afecta no sólo la región cercana a los incendios, sino a grandes zonas, que en este caso incluyen al sur de los Estados Unidos. También sabemos que hubo in-



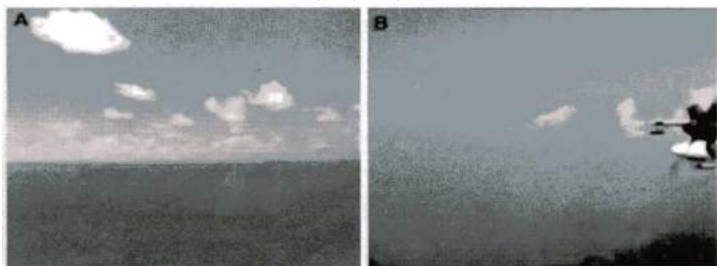
Figura 13

cendios espectaculares en Asia en 1997, con una contaminación de dimensiones muy alarmantes en ciudades como Kuala Lumpur. Estos incendios posiblemente se deben en parte a cambios en el clima, esto es, a sequías que propician los incendios.

Voy a mencionar otro ejemplo que ilustra la conexión del problema de contaminación regional con el problema climático global. Las nubes juegan un papel importantísimo en el balance térmico del planeta, puesto que reflejan aproximadamente la tercera parte de la radiación que viene del Sol. Si cambia esa proporción de alguna manera, puede haber efectos muy significativos en el clima del planeta. La figura 14 muestra dos fotografías del aire sobre el océano Índico, a mil kilómetros de distancia de la India. La imagen de la izquierda de la figura muestra cómo debería verse normalmente la atmósfera marina, que si está limpia, a menudo permite que se vean nubes, y que el horizonte aparezca muy claramente. La imagen es de la atmósfera del hemisferio sur, que está relativamente

Reducción de la Nubosidad Tropical por Hollín

A. S. Ackernan, O. B. Toon, D. E. Stevens, A. J. Heymsfield,
V. Ramanathan, E. J. Welton
Science, 288, 2000, 1042-1047



**Imágenes de nubes en capas de mezcald marinas limpia y contaminada
obtenidas durante la fase de campo intensiva INDOEX en 1999**

- (A) 4.3°S, 73°E in clean air from the southern Indian Ocean
- (B) 0.2°N, 73°E in polluted air 1000 km distant from India.

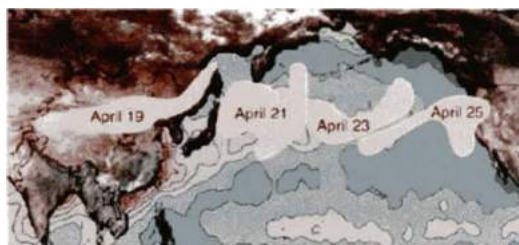
Figura 14

limpia. La imagen de la derecha es una fotografía tomada unos cuantos kilómetros hacia el norte, del otro lado de la zona que divide a los dos hemisferios desde el punto de vista de mezcla de aire. La imagen muestra cómo está afectada la atmósfera del hemisferio norte. ¿Por qué? Porque las emisiones que se originan en las ciudades y en las quemas de biomasa y de bosques en el Continente Asiático contaminan a la atmósfera. Las partículas de hollín, por ejemplo, se incorporan a las pequeñas gotas de agua que forman a las nubes y lo que hacen es cambiar drásticamente sus características. En este caso prácticamente desaparecen las nubes, porque sus pequeñas gotas de agua se calientan y se evaporan. Y esto puede tener consecuencias importantes para el cambio climático.

La figura 15 representa información obtenida con imágenes de satélite y muestra cómo se transporta polvo del desierto de Gobi desde Asia hasta Norteamérica. Esto nos indica que también es posible que se transporte la contaminación atmosférica

Contaminación Atmosférica Trans-Pacífica

Kenneth E. Wilkening, Leonard A. Barrie, Marilyn Engle



Contaminación a larga distancia. Imágenes de satélite del transporte Trans-Pacífico de aerosoles en abril de 1998 originados de una tormenta masiva de polvo en China.

Figura 15

producida por las actividades humanas entre continentes. Ese polvo de desierto también está indirectamente afectado por las actividades humanas, en este caso por la desertificación. Si tenemos zonas que eran boscosas originalmente y se convierten en desiertos, estamos exacerbando este tipo de eventos.

El resultado de todo esto es que la calidad del aire no solamente está siendo afectada en centros urbanos, sino que empieza a cambiar a escala global —por lo menos en el hemisferio norte— como consecuencia de las actividades de la sociedad. Sabemos que los efectos de la contaminación atmosférica en la salud humana ocurren dentro de las ciudades; en cuanto a los efectos globales, el problema no es tanto la salud pública, sino los efectos en zonas geográficas de mayor extensión, en sistemas ecológicos, e indirectamente en el clima. Todo esto es preocupante, sobre todo si consideramos el problema en una escala de tiempo que abarca la primera y la segunda mitad de este siglo, tal como lo hicimos

anteriormente en relación con el efecto invernadero.

LA CAPA DE OZONO DE LA ESTRATOSFERA

A continuación quiero mencionar brevemente otro problema, el del ozono estratosférico. Tenemos en nuestro planeta una capa muy importante, la llamada capa de ozono, que existe en la estratosfera y que nos protege de la radiación ultravioleta del Sol, que es dañina para los seres vivos en general. La capa de ozono se forma en la estratosfera de manera natural por acción de la radiación solar sobre el oxígeno atmosférico. Es una capa frágil y tenue, en la cual el ozono está más concentrado. Sin embargo, este compuesto es poco estable y poco abundante; su concentración máxima es de varias partes por millón.

Por otro lado, hay ciertos compuestos industriales llamados clorofluorocarburos, o CFC's, que se empezaron a producir en gran escala en la primera mitad del siglo

pasado, y que se usaban como refrigerantes, solventes, y propelentes para latas de aerosol. Estos compuestos tuvieron mucho éxito, porque se pudieron producir en grandes cantidades a bajo costo. Una propiedad importante que tienen estos compuestos es que debido a su bajo punto de ebullición pueden convertirse fácilmente de líquidos a vapores y viceversa, que es lo que se necesita tanto para refrigeración como para las latas de aerosol. Otra propiedad importante de los CFC's es que son compuestos tan estables y poco tóxicos, que hasta los podemos respirar sin problema.

En 1974 hice la predicción junto con mi colega Sherwood Rowland de que los CFC's —que se estaban acumulando en el medio ambiente— tendrían eventualmente un efecto nocivo en la capa de ozono de la estratosfera.

Los CFC's, siendo tan estables, se mezclan en la baja atmósfera de todo el planeta y no son limpiados por la lluvia o por los procesos químicos que existen a esas

alturas, pero eventualmente se difunden por arriba de la capa misma de ozono, y ahí es donde la radiación ultravioleta del Sol los descompone. Los productos de descomposición de las moléculas de los CFC's actúan como catalizadores para la destrucción del ozono. Esto es, actúan mediante un proceso muy eficiente de amplificación, de tal manera que un átomo de cloro producido por la descomposición de una molécula de CFC puede reaccionar destruyendo a decenas de miles de moléculas de ozono.

Esa predicción, representada esquemáticamente en la figura 16, se pudo verificar eventualmente. En la figura 17 vemos que algo le ha pasado a la capa de ozono en el polo sur, sobre la Antártida. La línea azul en la figura presenta un perfil de ozono normal, indicando que la mayor parte del ozono está en la estratosfera. Lo que ha sucedido en el polo sur desde mediados de los años 80 es que en la primavera, cuando empieza a salir la luz después de la larga noche polar, la capa de ozono se

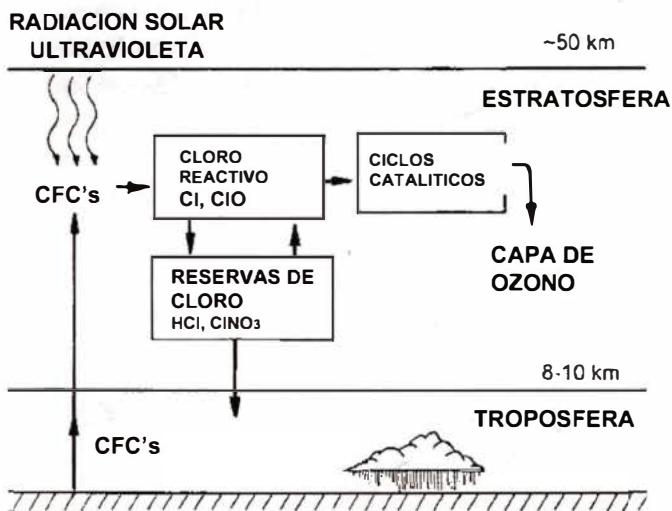


Figura 16

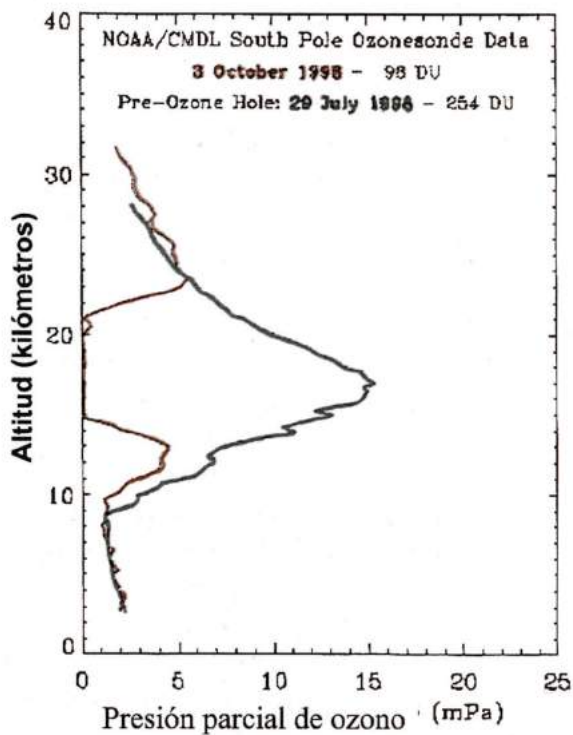


Figura 17

adelgaza poco a poco. Al cabo de seis semanas, más del 99 por ciento del ozono ha desaparecido, como lo indica la línea roja en la figura. Esto es lo que llamamos “el agujero en la capa de ozono”, y la altura a la que desaparece el ozono coincide con la presencia de nubes polares, nubes de hielo muy tenues. Hoy entendemos muy bien el tipo de química involucrada en este proceso: los pequeños cristales de hielo que forman las nubes polares aceleran la producción del cloro atómico, que a su vez ocasiona la descomposición del ozono de manera espectacular.

En el caso de este problema del ozono estratosférico, el aspecto científico está muy bien establecido, y esto facilitó que se pusieran de acuerdo los países de todo el mundo para firmar y ratificar un acuerdo internacional llamado el “Protocolo de Montreal,” que estipula un alto completo en la producción de los CFC’s en todos los países industrializados a partir de 1996. Este Protocolo representa el único ejemplo que existe de un problema global rela-

cionado con el medio ambiente que ha quedado prácticamente resuelto.

La figura 18 nos muestra los resultados de mediciones de uno de los CFC's, indicando cómo estaba aumentando su concentración en la atmósfera muy rápidamente hasta principios de los años noventa, pero como consecuencia del Protocolo de Montreal, cesó la producción y empezó a bajar la concentración. No baja rápidamente, dado que estos compuestos permanecen en la atmósfera por muchas décadas, debido a su alta estabilidad química. Es por ello que, aunque ya no se produzcan estos compuestos en gran escala, no será sino hasta mediados de este siglo cuando se note claramente la recuperación de la capa de ozono.

IMPACTOS DE LAS ACTIVIDADES HUMANAS EN EL MEDIO AMBIENTE

La figura 8 mostró cambios en la concentración atmosférica del bióxido de carbono, de metano y de óxido nitroso con el

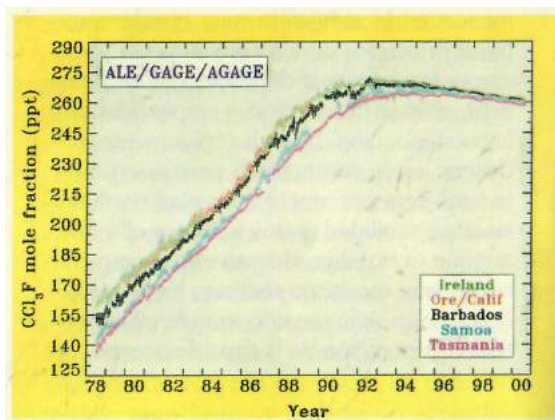


Figura 18

tiempo, ilustrando cómo la concentración de estos compuestos empezó a cambiar muy rápidamente a finales del siglo xx. Lo mismo sucede con la temperatura: un cambio muy rápido y muy reciente, tal como lo muestra la figura 9. La figura 19 es otra gráfica que tiene una forma parecida: representa la población mundial. Si la vemos en una perspectiva de milenios, ha sido relativamente estable, y es solamente en el último siglo y medio cuando se ha disparado. Por fortuna ya se empieza a nivelar: la población ya no está creciendo a gran velocidad, pero de todas maneras somos ya más de seis mil millones de habitantes, y la expectativa es que no lleguen a más de diez mil. Pero es ya tal la cantidad de gente en el planeta, que la preocupación en cuanto a efectos sobre el medio ambiente es verdaderamente alarmante.

Para terminar, voy a describir un ejemplo relacionado con el problema del ozono estratosférico. Uno de los CFC's, el llamado CFC 113, se usaba para limpiar tarjetas electrónicas, como las que se usan en las com-

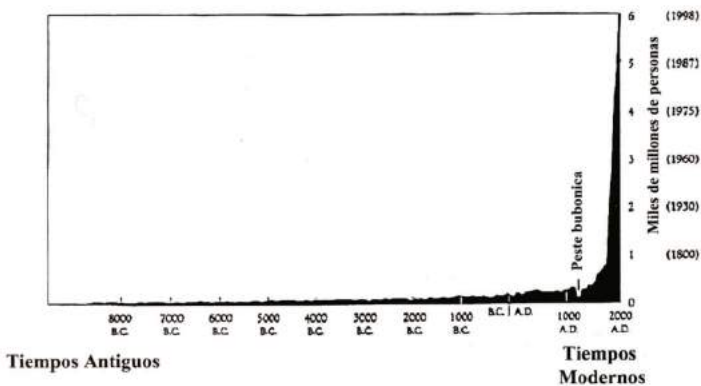


Figura 19

putadoras. Cuando sugerimos que sería necesario prohibir la producción de estos compuestos, los representantes de la industria electrónica se alarmaron mucho, porque pensaban que era imposible encontrar otro solvente que fuera igualmente satisfactorio.

Afortunadamente es un hecho que nuestra sociedad puede ser muy creativa. Teniendo, pues, la necesidad de encontrar otras soluciones, se inventaron procesos distintos para limpiar estas tarjetas con otros solventes, por ejemplo basados en jabón y agua, o en terpenos. Pero la solución más elegante, ilustrada en la figura 20, fue diseñar un proceso de fabricación de tarjetas electrónicas que estuvieran limpias desde un principio. Así, ya no es necesario usar solventes para limpiarlas. Esto representa un ejemplo de cómo es posible resolver problemas del medio ambiente con tecnologías nuevas, manteniendo al mismo tiempo un alto nivel de vida.

Por último, quiero hacer énfasis de nuevo en lo delgada y vulnerable que es nues-



Ingenieros de AT&T prueban un equipo para eliminar el uso de CFC's en la limpieza de tableros de circuitos electrónicos

Figura 20

tra atmósfera, como podemos apreciarlo en la figura 21, y, por otro lado, en la tecnología y el gran potencial que tiene la sociedad para resolver problemas ambientales y para mejorar la calidad de vida de todos los habitantes del planeta. En el caso del problema del ozono, el Protocolo de Montreal tuvo éxito porque hubo una colaboración estrecha entre el mundo científico, las organizaciones ambientales, los tomadores de decisiones de los gobiernos de todo el mundo, y la industria que inicialmente se oponía a que hubiera cambios. Es, pues, un ejemplo que nos demuestra que sí es posible resolver estos problemas ambientales, aunque representen un reto enorme para la sociedad. Por esta razón todos tenemos que trabajar juntos; sobre todo, es indispensable que haya colaboración entre los países industrializados y los países en desarrollo, que es donde está la mayor parte de la población de la Tierra.



Figura 21

CONTESTACIÓN AL DISCURSO DE INGRESO
DE MARIO MOLINA

José Sarukhán

Damos la bienvenida hoy a nuestra institución, El Colegio Nacional, a un nuevo distinguido Miembro, pero también a un violinista frustrado. Porque eso era lo que alrededor de los 9 o 10 años Mario Molina pensaba seriamente escoger como carrera de vida. Sin embargo, una estancia de un par de años en Suiza —por esa edad— lo hizo decidirse definitivamente por la química, afición que, cuidadosamente auspiciada por su tía Esther que había estudiado la carrera de química, competía seriamente

con sus apetencias musicales. O me atrevería a calificar el grado de seriedad de la pérdida para el Arte como resultado de esa decisión de Molina. Lo que sí resulta ahora diáfano es la sustancial ganancia para la Ciencia.

José Mario Molina Pasquel nació en la ciudad de México el 19 de marzo de 1943, en el seno de una familia con tradición en ocupaciones intelectuales, de entre las cuales, su padre, abogado de profesión y docente en la Facultad de Derecho de la UNAM, sirvió en el Servicio Exterior Mexicano como Embajador en diversos países. En ese medio privilegiado, Mario desarrolló tempranamente su interés por la Ciencia, especialmente por la química, y por el Arte. Tener a un miembro de la familia con la profesión química, le permitió incursionar en aventuras experimentales en esta ciencia que estaban muy por delante del nivel de sus estudios.

Al iniciar la década de los sesenta, entró a estudiar la carrera de ingeniería química en la Facultad de Química de la UNAM, al

término de la cual, en 1965, encontró que aunque sus conocimientos en ingeniería química eran buenos, requería de una formación mucho más sólida en físico-química, con un contenido mayor de mecánica cuántica. La respuesta fue viajar a Alemania, ya que contaba con una buena base de alemán aprendido en sus dos años en Suiza, y se inscribió en la Universidad de Friburgo, donde además de llevar los deseados cursos de físico-química y mecánica cuántica, realizó investigaciones en la cinética de procesos de polimerización.

Al final de este periodo, Molina viaja a París, donde se dedica intensamente a estudiar matemáticas por su cuenta, pero también a vivir el efervescente ambiente intelectual francés previo a los intensos movimientos estudiantiles gestados entre 1967 y 1968. Al inicio de este año regresa a la Facultad de Química en la UNAM a organizar y echar a andar el primer posgrado de ingeniería química de nuestro país.

Ese mismo año decide iniciar sus estudios doctorales, para lo cual ingresa a la Univer-

sidad de California en Berkeley, donde trabaja con el grupo del profesor George Pimentel en el campo de fenómenos de dinámica molecular, usando la tecnología de láseres químicos desarrollada en dicho laboratorio unos cuantos años antes. En ese tiempo se iniciaba el desarrollo de la tecnología de láseres de gran potencia con fines militares, aplicación que no solamente no atrajo a Molina sino que le pareció repudiable. Su trabajo de investigación estuvo relacionado con la distribución de la energía interna de los productos de reacciones químicas y foto-químicas, estudio con el que obtuvo su doctorado, escasos cuatro años después, en 1972. A la experiencia académica, Molina añadió la del intelectualmente motivante movimiento estudiantil en Berkeley, así como otra particularmente trascendente en su vida: ahí conoció a una compañera de estudios, Luisa Tan, quien no solamente sería su cercana colaboradora en gran parte de su trabajo científico, sino también en la preparación de sus desayunos, el cuidado de su hijo y algunos otros

componentes de la vida de casados. Con buena razón Mario Molina ha expresado que los años pasados en Berkeley constituyen una etapa muy especial de su vida.

Al término de su doctorado, Molina estaba ya involucrado con un tipo de investigación para el cual no había disponibles en México ni los medios técnicos ni los apoyos de infraestructura que se requerían. En consecuencia, opta por una posición posdoctoral con el profesor Sherwood Rowland, en la misma Universidad de California, pero esta vez en el Campus de Irvine. Rowland investigaba las propiedades químicas de átomos con exceso de energía de traslación, producida por procesos radiactivos. Entre los proyectos que discutieron para su posdoctorado, el que más llamó la atención de Molina consistió en discernir cuál era el destino en el ambiente de algunos compuestos químicos industriales inertes, que se habían acumulado en la atmósfera, pero cuyo significado ambiental era totalmente desconocido. Se trataba de los clorofluorocarbonos (CFC's), moléculas que les resulta-

ban conocidas desde el punto de vista de su estructura molecular, pero no desde el punto de vista de su comportamiento químico en la atmósfera. En unas pocas semanas de trabajo, Molina y Rowland desarrollaban la llamada “teoría de la pérdida de ozono” relacionada a los CFC’s.

Unos cuantos años antes, Paul Crutzen había encontrado que algunos compuestos de origen natural, como los óxidos de nitrógeno, jugaban un papel de catalizadores en reacciones en la atmósfera que resultaban en la destrucción de ozono. Cuando Molina y Rowland compararon las concentraciones naturales de óxidos de nitrógeno en la atmósfera con las enormes cantidades de CFC’s que se estaban liberando de manera sostenida, se alarmaron por el efecto que estos compuestos tendrían en la química atmosférica y en los niveles de ozono en la estratosfera. Los clorofluorocarbonos son compuestos producidos industrialmente, que no existen en la naturaleza y se han usado de manera muy extendida como gases de enfriamiento, desde

refrigeradores domésticos, hasta los grandes sistemas industriales y urbanos de aire acondicionado, así como propelentes de aerosoles, materiales de aislamiento térmico en construcciones, y muchas otras aplicaciones industriales.

Hay que mencionar que, en afortunada coincidencia con la investigación de Molina y Rowland, al inicio de los setenta empezaban a hacerse disponibles los primeros datos sistematizados sobre las características ambientales globales de nuestro planeta con los recién desarrollados satélites de observación ambiental terrestre. Como resultado de los cálculos de Molina, él y Rowland se pusieron en contacto con la comunidad de científicos de la atmósfera para discutir sus datos y su teoría de que los CFC's disminuían la concentración de O₃ estratosférico, por acción de la radiación solar que descomponía tales compuestos clorinados en radicales sumamente activos que se combinaban con el ozono, destruyéndolo. Debido a los enormes volúmenes con los que se emitían los CFC's, Molina y

Rowland concluyeron que los CFC's podrían afectar seriamente el escudo de protección que el ozono proporciona para filtrar la mayor parte de las radiaciones ultravioleta que llegan a la superficie terrestre, provenientes del Sol.

Con mayores datos, Molina y Rowland publicaron sus primeros resultados en *Nature* y dedicaron después de ello considerable tiempo para establecer comunicación con los industriales y tomadores de decisiones, en reuniones con el Congreso de los EEUU. Molina, como resultado de sus investigaciones en fenómenos fotoquímicos de la estratosfera, estableció en Irvine un grupo de trabajo para el estudio de las propiedades químicas espectroscópicas de compuestos químicos de importancia atmosférica, y en particular de aquellos inestables o difíciles de manejar en el laboratorio.

Varios trabajos publicados en conjunto siguieron a ese primero en *Nature*. Sintiendo la necesidad de dedicarse más a sus experimentos y observaciones, Molina buscó un trabajo que le permitiera más tiempo de

investigación. Así, después de más de media docena de años en Irvine, entró al Jet Propulsion Laboratory. Fue durante este periodo cuando Mario Molina y Luisa Tan llevaron a cabo los cruciales experimentos de simulación con nubes de cristales de hielo y observaciones de imágenes remotas, así como experimentos con compuestos no estudiados hasta entonces (los peróxidos de cloro) que les permitieron describir el efecto de los CFC's en la producción del llamado "agujero de ozono" en las regiones polares, especialmente el Antártico.

Con estos datos, los resultados iniciales publicados con Rowland, y las estadísticas de salud pública de países cercanos a los círculos polares sobre incidencia de casos de cáncer, apoyados con numerosas reuniones y presentación en organismos internacionales como la OMS, la OMM, y diversos organismos de las Naciones Unidas, se logró que se negociara y aprobara (en septiembre de 1987) el que conocemos ahora como Protocolo de Montreal, que estableció normas para reemplazar, paulatina, pero

definitivamente, el uso de los CFC's en todo el mundo, por otros gases sin el efecto nocivo de los CFC's. México, por cierto, fue el primer país en ratificar dicho Protocolo.

La relevancia del Protocolo de Montreal ha ido haciéndose crecientemente evidente, no sólo por el hecho de que fue el primero de su tipo signado por la mayoría de los países del mundo, sino porque su observación amplia ha generado cambios favorables sensibles en el problema que trataba de resolver. Este hecho no se ha vuelto a repetir en otros convenios o protocolos ambientales globales. Ya sea porque los signados por muchísimos países no han tenido repercusión tangible alguna, como es el caso del Convenio de Biodiversidad, o bien porque no se ha alcanzado un acuerdo de consenso para su firma, como sucede con el protocolo de Kyoto.

A pesar del distanciamiento físico entre las instituciones con las que el doctor Molina ha trabajado y México, él ha mantenido una cercanía con nuestro país que se ha acrecentado notablemente en los últimos tres

o cuatro años. Aparte de las distinciones que varias instituciones mexicanas le han otorgado, como el doctorado *Honoris Causa* de la UNAM en 1996, o su participación en misiones académicas como la evaluación de los posgrados en ciencias de la misma UNAM, Molina ha iniciado un ambicioso y muy importante proyecto de investigación sobre la calidad del aire de la zona metropolitana de la ciudad de México, en la que ha logrado una amplia colaboración de instituciones académicas mexicanas y del extranjero, con diferentes niveles de gobierno y con académicos mexicanos y extranjeros. La tecnología con la que se trabaja en el proyecto es absolutamente de vanguardia, y en consecuencia el entrenamiento del personal técnico involucrado es de primera. Pero más importantemente, el doctor Molina ha hecho todos los esfuerzos para que técnicos y estudiantes mexicanos se entrenen y capaciten en estas nuevas metodologías, para lo cual aportó hace unos años recursos propios para establecer becas para que estudiantes mexicanos se entrenen

en el extranjero en diversas áreas de la química y física atmosféricas.

Éste constituye sin duda el más comprensivo estudio de calidad de aire llevado en esta región del país. El involucramiento de los sectores gubernamentales augura, con una alta probabilidad, que los resultados y recomendaciones de los estudios influirán en las políticas referentes al control de emisiones vehiculares y de otro tipo, en la gran zona metropolitana de la ciudad de México.

La conferencia inaugural del doctor Molina nos expone claramente los campos del conocimiento que él tocará en sus conferencias y actividades correspondientes a El Colegio Nacional: el ámbito de los problemas ecológicos globales resultado del impacto de las actividades humanas sobre los sistemas que dan soporte a la vida —la nuestra y la de los demás organismos con los que compartimos el Planeta— la necesidad de encaminarnos inequívocamente hacia políticas públicas y formas de vida que vayan garantizando el progresivo al-

cance de un desarrollo social y humano realmente sustentable, la mejoría de las condiciones de vida que impactan sobre los habitantes de las grandes urbes metropolitanas de México.

La suya será una voz, con toda la autoridad que su carrera científica le presta, que se unirá a la de varios otros que hemos expuesto a la sociedad mexicana estos temas y hemos luchado por que la información científica y tecnológica, ólida e incontrovertible, influya en el desarrollo de políticas públicas en nuestra nación. Políticas que van desde la generación de condiciones adecuadas para un desarrollo científico y tecnológico sano y con futuro, ligado a la atención a problemas que afectan a nuestra sociedad, hasta aquellas políticas que tienen que ver con la selección de las rutas más adecuadas para dirigir a la sociedad mexicana a un desarrollo verdaderamente sustentable y equitativo.

La historia de vida de Mario Molina debe servirnos, además, para reflexionar un par

de puntos respecto a lo que estamos haciendo en lo referente al fortalecimiento de la investigación —tanto la científica como la humanística— y el desarrollo tecnológico de México. Ciertamente, podemos presumir (con cierto fundamento) que Mario Molina es producto de nuestro sistema de educación superior pública y que si no pudo desarrollar su carrera científica como lo hizo en los Estados Unidos, es porque México no le ofreció las condiciones adecuadas para su investigación. No es esta una mala fotografía de lo que ocurrió, pero creo que está seriamente desenfocada. Para tener mayor nitidez de lo que esa fotografía ha captado, tendríamos que darnos cuenta de que al inicio de los sesenta, no más de uno de cada diez jóvenes mexicanos tenía oportunidad de asistir a algún tipo de educación superior. Alguien con la filosofía de los vasos medio llenos y medio vacíos podría congratularse que aun cuando menos del diez por ciento de los jóvenes podía asistir a la Universidad, uno de ellos alcan-

zó la máxima distinción que el mundo científico otorga a un individuo. Mal enfoque... El sentimiento que deberíamos tener es que nuestro país estaba perdiendo más del 90% de la capacidad intelectual y creativa de sus jóvenes en ese entonces, y que ahora, tres décadas después, no lo estamos haciendo tanto mejor: menos de uno de cada cinco jóvenes entre 18 y 23 años asiste a algún tipo de educación superior. En estas condiciones queremos hacer los grandes cambios que requiere México. Esto equivale a querer hacer despegar de la pista aérea a un Jumbo Jet, totalmente lleno de pasajeros, con menos de uno de sus cuatro motores. Y eso es sin meternos a discutir la calidad de esa educación superior.

Estoy convencido que tener premios Nobel en una sociedad se asemeja de cierta forma a jugar a la lotería: entre más billetes compras, más probabilidades tienes de sacarte el premio mayor. A juzgar por el tamaño de nuestra comunidad académica de nivel superior, en México necesitamos

comprar muchos más billetes para esperar más premios en esa lotería imaginaria.

El otro, último pensamiento, es la influencia de la comunidad académica tanto la científica y tecnológica como la humanística y de ciencias sociales, en la concepción y diseño de políticas públicas que tienen que ver con el bienestar de la sociedad mexicana. La información generada sobre CFC's tuvo efecto en el diseño de políticas, ya no nacionales sino globales, por dos razones. La primera es que los científicos involucrados en la investigación, notablemente Mario Molina y Sherry Rowland, invirtieron cantidades considerables de tiempo, esfuerzo y seguramente mucha saliva, para hablar con todo lo actores relevantes de los Estados Unidos. Desde miembros del Congreso hasta industriales y miembros de ONG's. El segundo fue una estructura gubernamental que ha sido por lo general atenta y demandante de información científica para atender la solución de los problemas que tiene enfrente y que afectan a la sociedad. Ese ha sido el papel central de la NAS/NRC en los

Estados Unidos, tradicionalmente: el de consejeros formales en ciencia para el gobierno federal. En México estamos iniciando, de manera aún trastabillante, ese camino, pero lo estamos iniciando. Nos falta mucho por hacer y la tarea atañe tanto a la comunidad académica como al sector industrial y gubernamental, especialmente este último. Hay, sin embargo, ya algunos ejemplos, aislados pero notables, de la participación de grupos de investigadores que han aportado su conocimiento para entender adecuadamente problemas que afectan a la sociedad y han ayudado a resolverlo, tanto en el área de las ciencias naturales como de las ciencias sociales y las humanidades. Están, entre otros por ejemplo, los casos de Conabio y del reciente esfuerzo de propuesta de la Ley de Bioseguridad por parte de la Academia Mexicana de Ciencias. Nuestras mayores universidades públicas, muy notablemente la UNAM, han dado muestras de otros ejemplos más. Sin embargo, ahora la comunidad académica tiene una nueva e importante responsabilidad social,

el deber de un nuevo *contrato con la sociedad* que sostiene sus actividades de investigación, en los términos propuestos por Federico Mayor, cuando era director de UNESCO y de Jane Lubchenko, ex presidente de la AAAS.

Bajo este *nuevo contrato social*, la comunidad de CyT invertiría una creciente proporción de sus esfuerzos en atender agendas de investigación y desarrollo que reflejen metas hacia el desarrollo sustentable, determinadas por la sociedad. En correspondencia, la sociedad se comprometería a invertir recursos de manera adecuada para permitir esa mayor inversión de tiempo de la comunidad de CyT que redundaría en una mejoría de las condiciones sociales, económicas y ambientales de la sociedad.

Los diversos niveles de gobierno de México, por otro lado, deberían ser los principales usuarios del conocimiento generado acerca de nuestra naturaleza y sociedad por la comunidad académica de México. Pero no lo son, o no lo son en la medida

en que deberían serlo. Los fondos sectoriales propuestos por Conacyt podrían ser un buen avance, pero son aún inoperantes. Sin embargo, será muy difícil avanzar en serio en la tarea de articular mejor a la comunidad que hace investigación en México con las esferas gubernamentales e industriales, mientras no exista, para empezar, una política de desarrollo industrial en México.

Usemos ocasiones como esta, que son especiales y señaladas en la vida cultural e intelectual de nuestra sociedad, para reflexionar seriamente sobre lo que debe hacerse para desarrollar la creatividad y la capacidad intelectual de los mexicanos y mexicanas, para que de ser 100 millones de habitantes, pasemos a ser 100 millones de individuos con capacidad de contribuir más equitativamente a que nuestro país y nuestra sociedad posean niveles mucho más equitativos y dignos de bienestar.

Mis últimas palabras son para reiterar la bienvenida, a nombre del Consejo de El Colegio Nacional, al doctor Mario Molina

Pasquel a esta casa de la cultura, del conocimiento y de la reflexión de México. Nuestro Colegio se enriquece con su presencia.

Ciudad de México, 24 de abril de 2003

ÍNDICE

Adolfo Martínez Palomo, <i>Palabras de salutación y bienvenida</i>	1
Mario Molina Pasquel, <i>El impacto de las actividades humanas en la atmósfera</i> , discurso de ingreso a El Colegio Nacional	7
José Sarukhán, <i>Contestación al discurso de ingreso de Mario Molina, como miembro de El Colegio Nacional</i>	65

Se terminó de imprimir en los Talleres de la Editorial Cromocolor, S. A. de C. V., Miravalles 703 Col. Portales, C. P. 03300, México D. F., en octubre de 2003. La edición consta de 1 000 ejemplares.