

# El efecto invernadero en la clase de Química

Marta Bulwik y Luz Lastres\*

## Resumen

Se presenta un resumen con la información más relevante sobre el efecto invernadero, así como una serie de sugerencias didácticas, experimentos y ejercicios para introducir el tema en la enseñanza preuniversitaria.

## Abstract

A brief summary is presented on the greenhouse effect, as well as a set of didactic approaches, demonstrations and problems to introduce this topic in High School chemical education.

## Introducción

En la República Argentina, a través del Ministerio de Cultura y Educación de la Nación, se realizan diversas tareas de capacitación docente, en las que participamos, tratando de hacer aportes útiles para la tarea en el aula.

Nuestra experiencia como educadoras, así como los comentarios de otros docentes, nos indican que sin perder nivel académico ni rigor científico, la Química puede ser abordada desde temáticas cercanas a los intereses de los alumnos. Este es el caso de los problemas relacionados con la calidad del ambiente que preocupan cada vez más a la población.

Teniendo en cuenta este hecho, a partir de 1993 se hizo llegar a los maestros de química de escuela secundaria las publicaciones 1) *Calidad ambiental a través de la Química* (Bottani, 1991) y 2) *Educación ambiental en la clase de Química* (Bulwik y Lastres, 1993). La primera de ellas contiene información actualizada sobre temas de Química Ambiental, mientras que en la segunda se ofrecen comentarios, sugerencias metodológicas y actividades experimentales y de otros tipos, relacionadas con los temas tratados en aquélla.

Presentamos aquí una adaptación de las partes de estas publicaciones que están relacionadas con el efecto invernadero.

Lo que nos preocupa no es la existencia de este efecto sino su aumento y las consecuencias que pudieran producirse, como

cambios climáticos que provoquen deshielos de los casquetes polares y den origen a graves inundaciones.

## El efecto invernadero (Bottani, 1991)

La teoría del efecto invernadero no es nueva. J.B. Fourier escribió sobre ella hace unos 160 años, pero no fue sino hasta hace poco tiempo que se convirtió en un término común aunque no sea bien comprendido.

La mayor parte de radiación que llega a la Tierra proviene del Sol. Del total de energía recibida, un 30% es reflejada al espacio por las nubes, moléculas que se encuentran en la atmósfera, partículas sólidas y todo lo que hay sobre la superficie terrestre. Del 70% restante, aproximadamente el 20% es absorbido por la atmósfera. Esto significa que alrededor de la mitad de la radiación es absorbida por la tierra y los océanos. La radiación entrega su energía a cualquier cosa que la absorba, causando un aumento de temperatura. Dado que la radiación solar incide sobre la Tierra durante las 24 horas del día, la temperatura del planeta debería ir en continuo aumento. Obviamente esto último no ocurre. La primera razón es que la Tierra también emite radiación como cualquier objeto cuya temperatura está por encima del cero absoluto (0 K), pero la radiación emitida tiene una distribución espectral muy diferente a la del Sol.

La Tierra emite la mayor parte de la energía como radiación infrarroja (IR), cuya longitud de onda está comprendida entre los 5 y los 12.5  $\mu\text{m}$ . Algunos de los componentes minoritarios de la atmósfera, principalmente el ozono, agua y dióxido de carbono, absorben radiación en esta zona del espectro. Por lo tanto algo de la energía emitida por la Tierra se emplea en aumentar la temperatura de la atmósfera.

Si estas moléculas, que absorben en el IR, no estuvieran presentes en la baja atmósfera, la temperatura de la superficie terrestre debería ser considerablemente más baja de lo que es actualmente. De hecho, se ha estimado que el efecto invernadero es responsable de un aumento promedio de temperatura de aproximadamente 45°C en las proximidades de la superficie terrestre. Algunas de las consecuencias se hacen evidentes durante la noche cuando la superficie del planeta, que ha sido calentada durante el día, irradia sin recibir energía del Sol. La presencia de nubes previene frecuentemente un enfriamiento apreciable de la atmósfera porque el calor es absorbido por las moléculas de agua. Por otra parte, en ausencia de nubes hay un mayor descenso de temperatura. Un ejemplo extremo de esta situación se da en los desiertos donde la atmósfera es muy seca, resultando días muy

\*Programa Nacional de Capacitación Docente, Ministerio de Cultura y Educación. Pizzurno 935, Buenos Aires (1020), República Argentina.

### \*Dirección de contacto:

Marta Bulwik. Córdoba 2586 Piso 10 departamento E  
Buenos Aires (1120) Argentina. Fax: (541) 962-0728, (541) 825-0307

Recibido: 15 de enero de 1995; Aceptado: 24 de abril de 1995.

calurosos y noches muy frías. El caso más extremo se presenta si no hubiera atmósfera, como en la Luna.

Por otra parte, si toda la radiación IR emitida por la Tierra fuera absorbida por la atmósfera, la temperatura terrestre aumentaría de manera catastrófica, tal como ocurre en Venus cuya atmósfera está constituida básicamente por dióxido de carbono.

El dióxido de carbono es conocido como uno de los gases de invernadero, más adelante mencionaremos otros y los discutiremos.

No siempre se aprecia que, si bien la atmósfera es tenue también tiene un gran espesor. Si se la comprimiera en una capa, cuya densidad fuera igual a la del agua, tendría una altura de 10 metros. La atmósfera está llena de gases que absorben radiación y que tienen influencia significativa sobre la temperatura planetaria.

Volviendo al efecto invernadero, podemos señalar que existe mucha controversia aún con el nombre. En general el término efecto invernadero se emplea para describir el aumento de temperatura causado por el aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. Los invernaderos deben su temperatura a esta causa pero hay otras variables a considerar; por ejemplo, el vidrio que cubre el invernadero absorbe radiación del suelo y está más caliente de lo que debiera. También influyen el espesor del vidrio y la protección contra el viento que minimiza la transferencia de calor por convección.

Hay un concepto erróneo que es muy difícil de erradicar y es la creencia de que la radiación solar calienta directamente el aire que nos rodea. Si bien esto es parcialmente cierto, es mucho más importante la cantidad de energía absorbida por el suelo que a su vez calienta el aire en contacto con él (calentamiento indirecto).

Por otro lado, el suelo emite radiación noche y día como lo hace cualquier cuerpo. Una parte de esta radiación es absorbida por la atmósfera pero cuanto más caliente esté el suelo, más radiación emite al aire. El grado en que la atmósfera absorbe radiación es de gran importancia para determinar la temperatura del suelo.

La radiación devuelta por la Tierra al espacio juega un papel fundamental en el balance energético del planeta. Si suponemos que la Tierra se comporta como un cuerpo negro, el espectro electromagnético del planeta tomado desde el espacio indicaría que la temperatura en la superficie sería de unos  $-18^{\circ}\text{C}$  (255 K). Si la atmósfera no retuviera parte de la energía ésta sería la temperatura que tendríamos y no el valor promedio de  $15^{\circ}\text{C}$  (288 K) que en realidad experimentamos. A esta temperatura la Tierra debería emitir en su superficie unos  $390\text{ W/m}^2$ . Las medidas realizadas por satélites artificiales han determinado que sólo escapan al espacio unos  $237\text{ W/m}^2$ . La energía atrapada por la atmósfera es entonces la diferencia, unos  $153\text{ W/m}^2$ . Esta diferencia es atribuida al efecto invernadero.

En consecuencia concluimos que, si bien sin el efecto invernadero no existiría la vida en nuestro planeta tal y como la conocemos, este mismo efecto puede llevar a la destrucción de no solamente nuestra civilización sino de toda la vida del planeta.

Para comprender mejor el efecto invernadero debemos analizar con un poco más de atención la influencia que ejerce la atmósfera sobre el ingreso y egreso de radiación al planeta.

La atmósfera absorbe la radiación solar en un amplio intervalo de longitudes de onda, pero en principio podemos definir dos zonas del espectro en que ésta es transparente. Desde las longitudes de onda más cortas hasta unos  $0.3\text{ }\mu\text{m}$  (UV cercano) la atmósfera absorbe toda la radiación; en la zona del IR cercano ( $0.3$  a  $1\text{ }\mu\text{m}$ ) es transparente; entre  $1$  y  $24\text{ }\mu\text{m}$  (IR) hay algunas regiones estrechas donde la atmósfera es transparente,

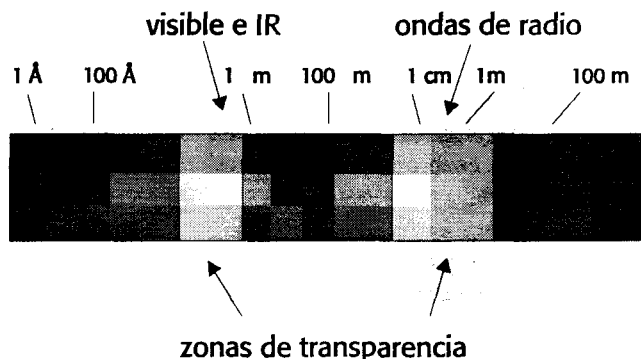


Figura 1.

pero estas zonas están restringidas por la presencia de gases como el dióxido de carbono y el agua. En la zona de  $24$  a  $300\text{ }\mu\text{m}$  la atmósfera nuevamente absorbe toda la radiación. Esta zona es seguida por la región de radio-frecuencia ( $15$  a  $30\text{ m}$ ). Los límites de esta zona dependen fuertemente de las condiciones, muy cambiantes por cierto, de la ionosfera. Finalmente, para longitudes de onda mayores que  $30\text{ m}$  la radiación es reflejada totalmente por la ionosfera. Toda la radiación absorbida por la atmósfera es convertida en calor y eventualmente sirve para el calentamiento de la misma.

Con respecto a la radiación emitida por la Tierra ésta se concentra en la región de  $8.5$  a  $12.5\text{ }\mu\text{m}$ . Si esta zona de emisión es bloqueada por la incorporación de sustancias que absorben esta radiación, más y más radiación solar quedará atrapada en el sistema terrestre con el consiguiente aumento de temperatura. Es este aumento de temperatura y las sustancias que lo provocan lo que más debe preocuparnos.

Al comienzo mencionamos la existencia de otros gases que provocaban el efecto invernadero además del dióxido de carbono. Ellos son el agua, el  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{SO}_2$  y compuestos

halocarbonados. El monóxido de carbono no es considerado importante por su escasa capacidad de absorber en el IR, pero como reacciona con otras moléculas debe ser tenido en cuenta por lo que nos ocuparemos de él más adelante.

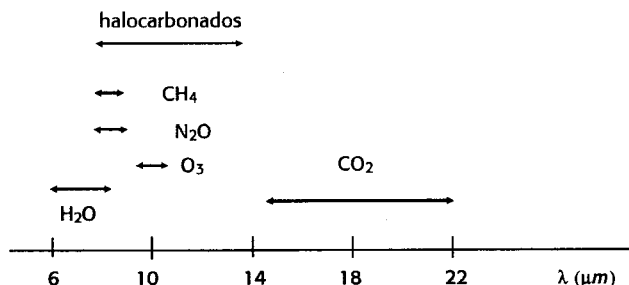


Figura 2.

En la figura 2 se indican los principales gases presentes en la atmósfera, que absorben en la zona donde la Tierra emite su radiación. Como vemos esta "ventana" se ha reducido con lo cual más radiación IR es absorbida por la atmósfera con el respectivo aumento global de la temperatura.

Lo importante es conocer cuáles de estos gases y en qué cantidad, son de origen natural y cuáles y en qué cantidad son de origen antropogénico (originados por el hombre).

En el caso del CO es bastante simple discriminar las fuentes naturales de las antropogénicas, excepto cuando se considera la oxidación atmosférica del metano, dado que este gas proviene de ambas fuentes. Tanto el metano como otros hidrocarburos son oxidados por los radicales oxhidrilo de los que nos ocuparemos luego.

Los datos que utilizaremos a continuación son difíciles de manejar debido a su poca certeza. De todas maneras los emplearemos para ilustrar dos aspectos fundamentales. Primero que es difícil estimar cifras de emisión globales y que los resultados están sujetos a un gran error. Y en segundo lugar que dichos datos dependen mucho de la actividad humana y del clima en un año dado. A pesar de todo, lamentablemente éstos son los únicos datos disponibles y debemos usarlos para realizar las predicciones necesarias para tomar decisiones.

Otros factores a tener en cuenta, además del espectro de absorción de cada gas, son: concentración, vida media en la atmósfera y su capacidad de absorción.

En cuanto a la concentración es obvio que cuanto mayor sea más influirá ese componente y si consideramos la vida media ocurre lo mismo. Un gas que es poco abundante pero con gran vida media puede provocar los mismos efectos si estuviera en alta concentración y con una vida media menor.

En la Tabla I se muestran algunos valores estimados de vida media.

Tabla 1.

Gas	Vida media
CO <sub>2</sub>	50 - 200 años
CH <sub>4</sub>	10 años
CFC-11	65 años
CFC-12	130 años
N <sub>2</sub> O	150 años
NO <sub>2</sub>	1 día
SO <sub>2</sub>	algunas semanas

Las vidas medias del NO<sub>2</sub> y del SO<sub>2</sub> son cortas y no influyen mayormente en el efecto invernadero, pero sí son responsables de la lluvia ácida.

Podemos preguntarnos ahora cuál es el origen de estos gases y en cuánto contribuye cada fuente. En las tablas 2 a 4 se dan valores para el N<sub>2</sub>O, CO y CH<sub>4</sub>.

Tabla 2. Emisión de N<sub>2</sub>O (1 Tg = 10<sup>6</sup> t = 10<sup>12</sup> g)

Fuente	Emisión anual (Tg de N <sub>2</sub> O)
Océanos	2.2 - 4.1
Suelo:	
Tropical	3.5 - 5.8
Templado	1.1 - 2.4
Combustión	0.2 - 0.5
Biomasa	0.3
Fertilizantes	0.02 - 3.5
<b>Total</b>	<b>7.2 - 16.5</b>

Tabla 3. Emisión de CO.

Fuente	Emisión anual (Tg de Co)
Fuentes tecnológicas	640 ± 200
Quemado de biomasa	1000 ± 600
Vegetación	75 ± 25
Océanos	100 ± 90
Oxidación atmosférica de metano*	600 ± 300
hidrocarburos naturales	900 ± 500
Suelo	17 ± 15
<b>Total</b>	<b>3300 ± 1700</b>

\* aproximadamente el 50% es de origen antropogénico.

Tabla 4. Emisión de CH<sub>4</sub>.

Fuente	Emisión anual (Tg DE CH <sub>4</sub> )	Intervalo de variación
Tierras húmedas	115	100 - 200
Arrozales	110	25 - 170
Fermentación de excrementos	80	65 - 100
Pérdida en el transporte y bombeo de gas y petróleo	45	25 - 50
Quemado de biomasa	40	20 - 80
Termitas	40	10 - 100
Aviones	40	20 - 70
Minería del carbón	35	17 - 50
Océanos	10	5 - 20
Agua de manantial	5	1 - 25
<b>Total</b>	<b>520</b>	<b>400 - 600</b>

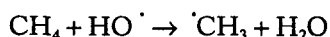
Como vemos, algunos de estos gases son producidos naturalmente en mayor cantidad que por el hombre, pero no por eso debemos subestimar el problema, dado que está comprobado el aumento constante (descontados los ciclos naturales) de la concentración atmosférica de metano y dióxido de carbono. Lo que debemos suponer es que la naturaleza es capaz de purificar la atmósfera de los contaminantes naturales y debemos ejercer en lo posible un control estricto sobre las fuentes antropogénicas.

Veamos ahora el papel que juega el radical oxhidrilo en la química atmosférica.

La concentración de HO<sup>·</sup> en la atmósfera es muy baja, aún comparada con los otros gases de invernadero. Hay aproximadamente 50 000 radicales por cm<sup>3</sup> de aire. Esta cifra que parece grande no lo es tanto si recordamos que en 1 cm<sup>3</sup> de aire hay 2 × 10<sup>19</sup> moléculas de nitrógeno o que de metano, considerado como traza, hay 10<sup>13</sup> moléculas por cm<sup>3</sup>. A pesar de la escasa cantidad de radicales oxhidrilo, éstos juegan un papel crucial en la química atmosférica.

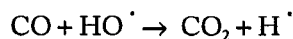
El radical oxhidrilo es una especie química que posee un electrón desapareado, lo que le confiere una gran inestabilidad o dicho en otros términos, es muy reactivo.

Los radicales HO<sup>·</sup> reaccionan con moléculas orgánicas quitándole un átomo de hidrógeno formando agua y un nuevo radical



El radical metilo (<sup>·</sup>CH<sub>3</sub>) reacciona rápidamente con una molécula de oxígeno produciendo eventualmente formaldehído (metanal) y luego de varias etapas más termina dando dióxido de carbono y agua.

Otra reacción que involucra al radical oxhidrilo es con el monóxido de carbono, producido fundamentalmente por los motores a combustión interna:



Además de aumentar la concentración de dióxido de carbono, esta reacción consume radicales oxhidrilo que podrían consumir parte del metano. Con este ejemplo vemos que, el hombre, además de liberar un compuesto tóxico como es el monóxido de carbono, indirectamente perturba un ciclo natural de auto-limpieza de la atmósfera.

Acá concluye la parte informativa de la publicación (Bottani 1991). Antes de pasar a las propuestas didácticas consideramos conveniente intercalar algunos comentarios.

De acuerdo con lo visto, el efecto invernadero es una consecuencia de la capacidad de la atmósfera para dejar pasar radiación infrarroja de corta longitud de onda y absorber parcialmente la de larga longitud de onda. Hay consenso científico en que los llamados gases de invernadero están contribuyendo al calentamiento global de nuestro planeta y que este calentamiento tendrá impacto, en las próximas décadas, sobre el clima de muchas regiones del mundo. La actividad humana contribuye al aumento de gases de invernadero, especialmente el dióxido de carbono debido a la quema de combustibles fósiles y a la deforestación.

La emisión anual de dióxido de carbono de origen antropogénico es actualmente de unos 22,000 Tg. La concentración de este gas en la atmósfera ha ido en constante aumento desde la época de la Revolución Industrial y es una preocupación actual encontrar formas de frenar este incremento.

### Para trabajar con los alumnos (Bulwik y Lastres, 1993)

#### Comprobando el efecto invernadero

Disponer de dos cajas de igual tamaño. Dentro de cada una de ellas colocar un termómetro. A una, tapparla con un vidrio transparente a la luz y a la otra dejarla destapada.

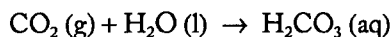
Leer la temperatura que marcan los termómetros. Colocar una lámpara potente que irradie ambas cajas; asegurar que esté en el medio de las dos, de manera que la luz se distribuya por igual en ambas.

Después de aproximadamente una hora, leer la temperatura correspondiente a cada caja. Se observa una diferencia de varios grados entre una y otra, que permite discutir el tema con los alumnos.

#### Medición de niveles de CO<sub>2</sub>

La actividad que presentamos a continuación ha sido tomada de CHEMCOM (ACS, 1988).

En esta actividad se compara la cantidad de CO<sub>2</sub> presente en diversas muestras de aire. Para ello, el aire se burbujea a través de agua que contiene un indicador, azul de bromotimol. El dióxido de carbono reacciona con el agua así:



A medida que aumenta la concentración de ácido carbónico en solución, el azul de bromotimol cambia de azul a verde (pH = 7.6) y luego a amarillo (pH = 6.0).

*Antes del trabajo experimental*

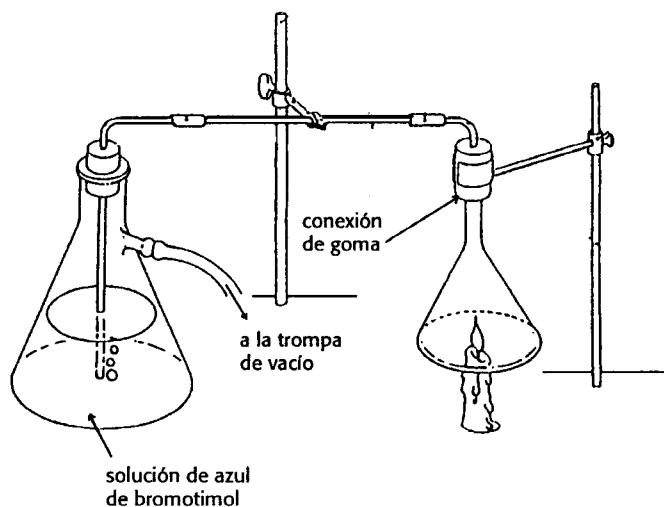
Hacer énfasis en que todos los procesos de combustión (que involucran hidrocarburos, combustibles basados en carbono o alimentos) producen CO<sub>2</sub>. Este tipo de contaminación es inevitable, salvo que pasemos a utilizar fuentes alternativas de energía (nuclear, solar, eólica, geotérmica).

A sus alumnos les puede interesar el saber que los químicos analíticos ambientales hacen rutinariamente análisis cuantitativos del orden de ppm (y en muchos casos se está volviendo común hacerlos en ppb y posible en ppt), usando técnicas instrumentales muy sensibles, automatizadas.

*Procedimiento*

**1. CO<sub>2</sub> en aire normal**

- Colocar 125 mL de agua destilada en un kitasato de 500 mL y agregar 10 gotas de azul de bromotimol. La solución quedará azul.
- Volcar 10 mL de la solución anterior en un tubo de ensayo y dejarla aparte como testigo.
- Armar el aparato indicado en el dibujo (sin la vela). El embudo de vidrio debe tener unos 7 cm de diámetro.



- Conectada la trompa para vacío, abrir la llave del agua para que pase aire por el frasco. Controlar la posición de dicha llave, para poder mantener el mismo flujo en las diferentes etapas.
- Dejar pasar aire durante 10 minutos. Cerrar el agua. Retirar el tapón del frasco.
- Volcar 10 mL de la solución del frasco a un segundo tubo de ensayo. Comparar el color de esta muestra con el control, y guardar esta muestra.

**2. CO<sub>2</sub> proveniente de combustión**

- Vaciar el kitasato y lavarlo cuidadosamente con agua destilada.
- Volver a llenarlo con solución de indicador como en el paso anterior y rearmar el aparato.
- Encender la vela y ubicarla con el embudo de manera que la punta de la llama esté a la altura del borde del embudo.
- Abrir la llave del agua a la misma posición que antes. Anotar el tiempo inicial y dejar funcionar hasta que el indicador en solución se vuelva amarillo. Registrar el tiempo necesario en minutos.
- Volcar 10 mL de la solución en un tubo de ensayo limpio, comparar con las otras dos soluciones y guardar.

**3. CO<sub>2</sub> en aire exhalado**

- Colocar 125 mL de agua destilada en un erlenmeyer y agregar 10 gotas de azul de bromotimol.
- Anotar el tiempo y soplar en la solución a través de una pajita o sorbete hasta que el indicador vire al amarillo. Registrar el tiempo necesario.
- Volcar 10 mL de la solución en tubo de ensayo, comparar con los otros tubos, registrar las observaciones.

*Para discutir luego de los experimentos*

1. Comparando el color de las soluciones de cada ensayo, ¿cuál de las muestras contenía más CO<sub>2</sub>? (La proveniente de la vela encendida; el aire normal presenta la menor cantidad).
2. Comparar el tiempo y cambio de color con aire normal y aire sobre la vela. Explicar las diferencias. (La combustión de la parafina produce CO<sub>2</sub> y por lo tanto se necesita menos aire atravesando el aparato, es decir menos tiempo, para conseguir cambio de color).
3. ¿Cuál contiene más CO<sub>2</sub>, el aire en ausencia de vela encendida o el aire exhalado? (El exhalado, ya que el metabolismo humano de los alimentos produce CO<sub>2</sub>).
4. Indicar qué efecto tendría sobre el color de la solución de indicador que:
  - a) hubiera plantas en la habitación;
  - b) 50 personas entraran y permanecieran en la habitación;
  - c) la habitación tuviera mayor ventilación;
  - d) la mitad de las personas presentes en la habitación estuviera fumando.

**Recordar:**

azul	concentración mínima de CO <sub>2</sub>
verde	concentración intermedia de CO <sub>2</sub>
amarillo	concentración máxima de CO <sub>2</sub>

- las plantas verdes usan CO<sub>2</sub> —cambio al color de pH neutro;
- las personas producen CO<sub>2</sub> —cambio al color de pH ácido;
- mejor ventilación; se reduce la concentración de CO<sub>2</sub> exhalado —cambio al color de pH neutro;
- fumar es una combustión que produce CO<sub>2</sub> —cambio a color de pH ácido.

**Idea para demostrar lo afirmado en (a)**

El experimento que le comentamos a continuación suele realizarse en las clases de biología; puede conectarse con el docente de esta asignatura para hacer un tratamiento interdisciplinario.

Llenar dos frascos con agua, agregar gotas de azul de bromotimol. Notar el color azul. Con una pajita, soplar en cada frasco. Notar el color verde o amarillo, debido a la presencia de CO<sub>2</sub>. Ubicar una planta de Elodea en uno de los frascos y tapar ambos. Colocarlos a la luz del sol y observar que el agua en el frasco que contiene la planta retorna a su color anterior a medida que el CO<sub>2</sub> es consumido por la misma.

**Desafío para alumnos avanzados (o tarea para Club o Feria de Ciencias)**

Diseñar un sistema para detección de CO<sub>2</sub> que permita medidas cuantitativas. Una posibilidad podría ser la reacción del CO<sub>2</sub> con agua de cal seguida de la medición del aumento de masa. Una dificultad práctica es que se necesita medir diferencias del orden de 0.1 g y otra, la necesidad de atrapar el vapor de agua que se genera también en la combustión (hacer pasar los gases por un tubo de secado lleno de CaCl<sub>2</sub> antes de llegar al frasco con agua de cal).

**Actividades con gráficos**

Consideramos muy útil que nuestros alumnos construyan e interpreten gráficos, y los temas relacionados con química ambiental dan muchas oportunidades para hacerlo. A continuación le sugerimos dos actividades que reúnen ambos aspectos. La primera de ellas ha sido tomada de CHEMCOM.

I. En la siguiente tabla se muestran datos promedio obtenidos en el observatorio Mauna Loa en Hawái y en el Polo Sur, donde el aire está bien mezclado y lejos de fuentes locales de emisión de dióxido de carbono.

Año	Nivel aproximado de CO <sub>2</sub> (ppm)
1870	291
1900	287
1920	303
1930	310
1960	317
1965	320
1970	325
1974	328
1976	330
1978	333
1980	337
1982	340
1983	342
1985	345

1. Graficar el nivel de CO<sub>2</sub> en función del año. Preparar el eje horizontal para incluir los años 1870 a 2050 y el vertical para valores de 280 a 600 ppm.

Discutir, una vez marcados los puntos, cómo trazar la curva de manera que represente la tendencia de los puntos (no debe ser una recta ni una sucesión de segmentos de recta).

2. Suponiendo que la tendencia indicada por la curva continúe, extender la curva con línea de puntos hasta el 2050.

3. Usando el gráfico **predecir y evaluar predicciones**. Las extrapolaciones de este tipo son siempre tentativas, ya que pueden aparecer, en el futuro, factores imprevistos.

a) ¿Qué indica el gráfico respecto del cambio general en la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera desde 1870? (Aumentó).

b) Predecir el nivel de dióxido de carbono para hoy, el año 2000 y el 2050, sobre la base de la extrapolación efectuada. (2000: 335 ppm; 2050: 346 ppm)

c) ¿El gráfico predice una duplicación del nivel de dióxido de carbono existente en 1870? (No).

d) ¿Qué suposiciones se realizan al extrapolar datos conocidos? (La velocidad de aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera será, en el futuro, la misma que hubo en el pasado).

e) ¿Cuál de las predicciones hechas en (b) es la más exacta? ¿Por qué? (La más cercana a los últimos datos medidos, ya que la proporción en los cambios puede variar y cuanto más hacia el futuro extrapolemos, tanto mayor puede ser esta variación y en consecuencia, tanto más incierta la predicción; ya hay quienes predicen que en el año 2050 los niveles de 1870 estarán duplicados).

f) Mencionar factores que puedan hacer incorrectas las extrapolaciones. (Cambio en: quema de combustibles fósiles, cantidad de tierra desmontada anualmente, incendio de bosques, temperatura climática debido al comienzo de una edad de hielo).

II. Analizar los datos correspondientes a las distintas fuentes de emisión de metano, CH<sub>4</sub>, que aparecen en la primera parte de este artículo. Volcarlos a un gráfico de torta en el que se puedan observar claramente diferenciadas las fuentes naturales de las antropogénicas. ¿Qué comentarios pueden hacerse a partir del gráfico? (Al traducir los valores de la tabla a porcentajes, para realizar el gráfico de torta, resulta mucho más notoria la relación entre la producción natural de este gas y la humana. Se pueden comparar estos resultados con los correspondientes a otros gases, y se encontrará que en algunos casos las fuentes naturales superan a las antropogénicas.)

### Fórmulas y uniones

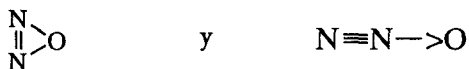
Los artículos periodísticos o de divulgación científica suelen ser muy útiles en las clases de química.

Más de una vez oímos decir que el tema formuleo y nomenclatura resulta "pesado", que al trabajar con uniones químicas y fórmulas de Lewis el interés de los alumnos decae. ¿Qué podemos hacer? Acá va una propuesta.

Si usted se fija en las noticias o comentarios acerca del problema de la disminución de la capa de ozono, del efecto invernadero o de la lluvia ácida, siempre encontrará mencionadas sustancias como el oxígeno, el ozono, el dióxido de carbono, el metano, algunos freones, el dióxido de azufre, algunos óxidos de nitrógeno, etcétera. Podemos, entonces, seleccionar una parte del texto (o todo, si no es muy extenso) y trabajar el tema de las fórmulas (moleculares, electrónicas o de Lewis y desarrolladas) conjuntamente con temas de química ambiental.

Según el nivel en el que se esté trabajando en el curso, se puede tomar el caso del ozono y/o del dióxido de azufre para introducir el concepto de híbrido de resonancia.

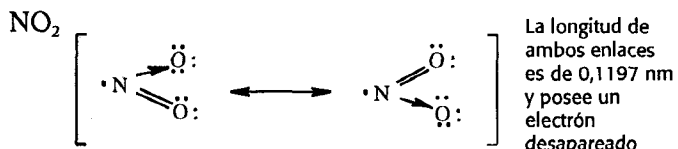
Muy habitualmente aparecen mencionados el N<sub>2</sub>O, el NO y el NO<sub>2</sub>. En dos de estos óxidos, la teoría del octeto no puede ser usada para proponer una estructura molecular, por lo tanto es una oportunidad para discutir las limitaciones de toda teoría y para remarcar que los conocimientos científicos evolucionan continuamente por el surgimiento de nuevas teorías. En cuanto al N<sub>2</sub>O nos permite discutir distintas estructuras teóricamente posibles, para luego descartar las que no están de acuerdo con datos experimentales. Por ejemplo, cuando pedimos a los alumnos que propongan estructuras para el N<sub>2</sub>O que cumplan con la regla del octeto, habitualmente aparecen dos:



Hay datos experimentales que indican que la molécula en estudio es lineal. Al recibir esta información, los alumnos comprenden por qué deben descartar la primera propuesta.

Y ya que estamos...

Algunas estructuras propuestas para las moléculas de NO y de NO<sub>2</sub> son:



### Bibliografía

- ACS, *Chemistry in the Community*. American Chemical Society. Kendall/Hunt Publishing Co., Dubuque, Iowa, 1988.  
 Bottani, E. J., *Calidad ambiental a través de la Química*, Comisión de Investigaciones Científicas, Pcia de Buenos Aires, La Plata, 1991.  
 Bulwik, M. y Lastres, L., *Educación ambiental en la clase de Química*, Min. de Cultura y Educación, Buenos Aires, 1993.

### ...respuestas a "Las tumbas..."

mente lo que es la entropía y así, en cualquier debate, siempre tendrás la ventaja.

13. Andrei N. Kolmogorov. Ruso (1903- ). La ecuación se refiere a la pérdida de información en un espacio N-dimensional. Esta expresión es útil para determinar el "arranque" del caos (momento en que un sistema comienza a tener un comportamiento caótico).

14. A. Renyi. Húngaro. Es también una expresión de entropía en la teoría de información pero generalizando las dimensiones por ello se ha considerado en la teoría de los fractales.

15. Ilya Prigogine. Belga (1917- ). Es la ecuación fundamental de la llamada Termodinámica Irreversible. Se refiere a la relación del cambio total de entropía con la del sistema y la de los alrededores, siendo la segunda la que de acuerdo a Clausius siempre debe de aumentar. Premio Nobel de Química en 1977.

16. James E. Lovelock. Inglés. Es una visión interesante de las tres leyes de la termodinámica que aparece en su libro GAIA, en el que se plantea que todo el planeta Tierra es un solo ser viviente. Es una cita de la paráfrasis de Garrett Hardin (*La tragedia de los comunes*).

17. W. Yourgrave, A. van der Merwe, G. Raw. Es una ecuación de balance de entropía en términos de flujos. Fundamental en Termodinámica de procesos irreversibles.

18. Sir Arthur Stanley Eddington. Inglés (1882-1944). El dibujo se refiere al concepto de que la entropía es la flecha del tiempo. Según Eddington la segunda ley es la única que hace distinción entre pasado y futuro. Fue uno de los más destacados contribuyentes en relatividad. Hawking habla de tres flechas del tiempo: la termodinámica, la psicológica y la cosmológica.

19. Lars Onsager. Americano nacido en Noruega (1903-1976). El símbolo se refiere a la irreversibilidad o linealidad termodinámica en relación a "cerca del equilibrio" y "lejos del equilibrio". Premio Nobel de Química en 1968. Sus trabajos sirvieron de base a Prigogine.

20. William F. Sheehan. Norteamericano. Es la descripción de los problemas de contaminación en relación a cuatro leyes de la termodinámica (incluye la llamada ley cero). Artículo del *Journal of Chemical Education* 49, 18 (1972).