

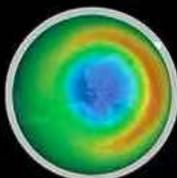


A Ciencia cierta...

NI HOYOS NI AGUJEROS...

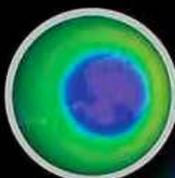
EL ADELGAZAMIENTO DE LA CAPA DE OZONO

1980

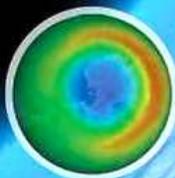


Con el protocolo de Montreal

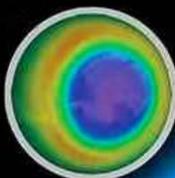
1990



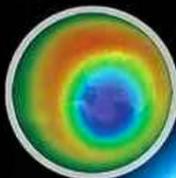
Sin el protocolo de Montreal



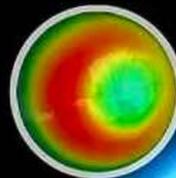
2015



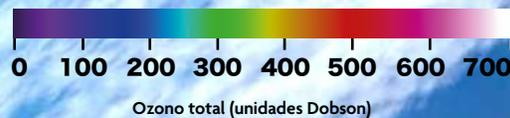
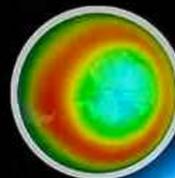
2025



2045



2060





Y tú, ¿qué es lo que piensas?

Es innegable que, en los últimos años, los problemas ambientales han cobrado una gran importancia. La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), en su informe de 2018, indicó que: “México, al igual que muchos países del mundo, enfrenta el reto de atender numerosos problemas relacionados con el ambiente que podrían constituir, en el futuro inmediato, un serio obstáculo para continuar con su desarrollo y alcanzar la sostenibilidad”. Los cambios en la concentración de ozono en la estratosfera se relacionan con algunos de esos problemas.

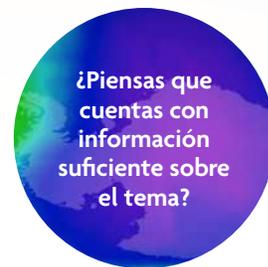
Los científicos han estudiado la capa de ozono de la estratosfera desde 1985 y, según datos de la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés), en 2006 se disparó una alerta mundial debido a que se registró la mayor "pérdida" de ozono en la región conocida como *agujero de ozono*, que técnicamente no es un agujero, sino una zona donde la concentración de ozono ha disminuido drásticamente. ¿Sabes qué ha pasado de 2006 a la fecha con el espesor de la capa de ozono en esta región?

Pero... ¿por qué la preocupación por el ozono si es uno de los gases que se monitorean ambientalmente y es dañino para los seres vivos? Entonces, ¿es bueno o es malo? Sin duda, conocer sobre estos temas es fundamental para comprender lo que sucede a nuestro alrededor, cambiar hábitos y actitudes para generar mejoras.

► ¿Qué sabes sobre el tema?

Coloca una X en la casilla que complete correctamente cada afirmación, de acuerdo con tu criterio.

1. Si el adelgazamiento de la capa de ozono continúa:	
a) La temperatura ambiente aumentará.	<input type="checkbox"/>
b) La cantidad de agua potable disponible disminuirá, aumentarán las inundaciones y habrá más agua contaminada.	<input type="checkbox"/>
c) Aumentará el número de personas con cáncer de piel.	<input type="checkbox"/>
2. El problema del adelgazamiento de la capa de ozono se agrava por:	
a) El exceso de luz solar que llega a la superficie de la Tierra.	<input type="checkbox"/>
b) Liberar a la atmósfera clorofluorocarbonos gaseosos, conocidos como <i>freones</i> , que contienen los sistemas de refrigeración.	<input type="checkbox"/>
c) El gas que desprenden los fertilizantes artificiales.	<input type="checkbox"/>
d) La luz solar reflejada por la superficie terrestre que no puede escapar al espacio.	<input type="checkbox"/>
3. Algunas acciones que disminuirían el problema son:	
a) Dejar de usar CFC (freones).	<input type="checkbox"/>
b) Reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera.	<input type="checkbox"/>

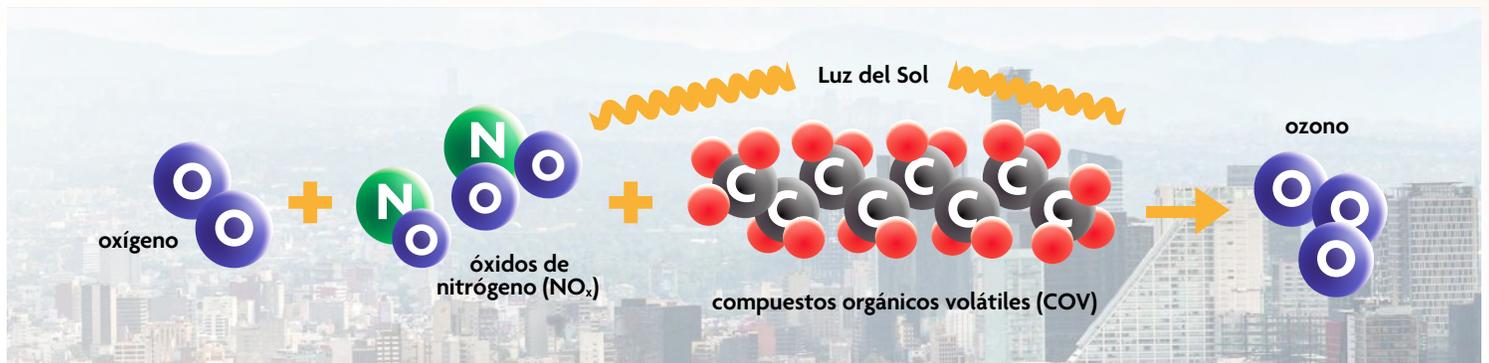
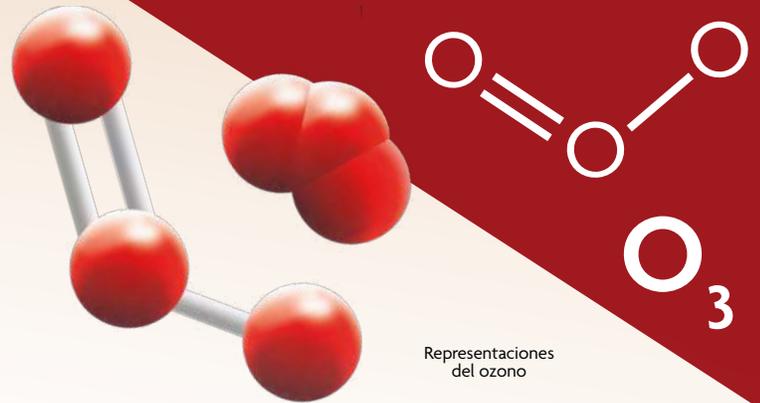


Un poco de información

► Ozono troposférico, el malo de la película

El ozono troposférico, también llamado *ozono de bajo nivel*, es uno de los principales contaminantes en la Ciudad de México. Es una de las sustancias más monitoreadas en áreas urbanas y una de las causas principales de alerta ambiental en las grandes ciudades. Se considera un contaminante secundario porque no se emite directamente a la atmósfera, sino que se forma como producto de la reacción fotoquímica con otros contaminantes atmosféricos, como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) que se liberan a la atmósfera de las estaciones de carga de combustibles, de la producción de compuestos industriales volátiles y de los aromatizantes de los diversos productos de limpieza que usamos en casa.

El ozono (O_3), un alótropo del oxígeno, es un gas incoloro muy activo químicamente, cuyo olor fuerte se puede detectar cerca de fotocopiadoras y motores eléctricos, es irritante y perjudicial para la salud humana: concentraciones elevadas de ozono agudizan los cuadros de asma en la población. Por ser un oxidante fuerte, es capaz de romper la membrana celular de algunos microorganismos, por lo que se usa en el tratamiento terciario de aguas residuales y para desinfectar alimentos y agua en casa mediante el uso de ozonizadores; aparatos que, conectados a la corriente eléctrica, rompen la molécula del oxígeno del aire y forman ozono.



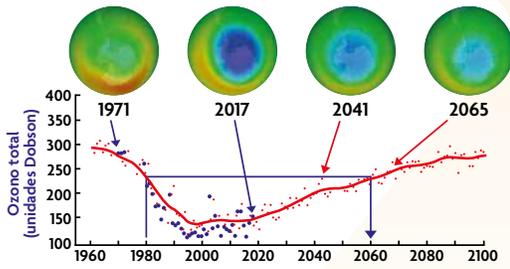
A fin de reducir los daños a la salud de los habitantes de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) y mantenerlos informados sobre las condiciones del aire, en los años ochenta se desarrolló una herramienta analítica llamada *Índice Metropolitano de Calidad del Aire* (IMECA), éste en 2020 se cambió por el *Índice Aire y Salud*, al igual que el anterior, se divide en cinco categorías, pero con límites más exigentes y se reporta para cada contaminante. En el caso del ozono:

IAS Concentración de O_3 (promedio de 1 hora, ppm)	IMECA	Calidad del aire
0.000-0.070	0-50	Buena o satisfactoria
0.071-0.095	51-100	Regular o aceptable
0.096-0.154	101-150	Mala
0.155-0.204	151-200	Muy mala
0.205-0.404	201-300	Extremadamente mala
0.405-0.504	301-400	Peligrosa
0.505-0.604	401-500	Peligrosa



Revisa la tabla completa en:
<https://bit.ly/47GV6yC>

► Ozono estratosférico: el bueno de la película



Tipo de radiación	UVA	UVB	UVC
Longitud de onda*	315-399 nm	280-314 nm	100-279 nm
Nivel de absorción	No absorbida por la capa de ozono	Mayormente absorbida por la capa de ozono, pero cierta cantidad llega a la superficie de la Tierra	Completamente absorbida por la capa de ozono y la atmósfera

*nm=0.000000001 metros o 1×10^{-9} metros.

El espesor normal de la capa de ozono en la atmósfera es de aproximadamente 300 unidades Dobson (unidad que describe el grosor de la capa de ozono) y cualquier región de la atmósfera donde sea menor que 220 unidades Dobson se considera anormal.

Desde 1980, se tiene evidencia de que el espesor de la capa de ozono ha disminuido principalmente en los polos, lo que provoca el paso de más radiación UV a la superficie de la Tierra. La sobreexposición a estos rayos tiene consecuencias importantes en la salud: cáncer de piel y cataratas, entre otras.

La ubicación exacta de la capa de ozono en la estratosfera genera controversia, hay quienes la sitúan entre los 19 y los 23 km; la NASA, por ejemplo, la ubica entre los 30 y 35 km. Esta diferencia de opiniones tiene su explicación en que la concentración de ozono en la estratosfera varía en función de la estación del año, la altura, la intensidad y el ángulo de incidencia de la radiación solar (zenit solar), la temperatura y la posición geográfica en donde se mide, entre otros factores. Sin duda, lo complejo de la Química Atmosférica se debe a la gran cantidad de variables que involucra su estudio.



Conoce más sobre el tema en *Ozone Hole Watch*:

<https://go.nasa.gov/3OygptV>

► La atmósfera y sus capas

El conocer las condiciones geográficas y ambientales del sitio donde estamos ubicados es fundamental para entender el comportamiento del mundo que nos rodea. Las actividades humanas se desarrollan en una parte de la atmósfera conocida como *troposfera*, la capa de aire en contacto con la superficie terrestre que tiene 12 km de extensión, aproximadamente. Como la densidad de la atmósfera disminuye con la altura, alrededor del 80 % de la masa total del aire se concentra en esta región.

En la siguiente tabla puedes observar cómo varía la temperatura de la atmósfera con la altura.

Altura (km)	0	5	10	12	20	30	40	50	60	80	100
T(°C)	20	-13	-45	-60	-53	-38	-18	2	-26	-87	-48

Construye una gráfica con los datos de la tabla, coloca la altura en el eje y y la temperatura en el eje x. Analiza la forma de la gráfica y, junto con tus compañeros, realicen las siguientes actividades:

- Indaguen en cuántas capas se divide la atmósfera e identifiquenlas en la gráfica que construyeron.
- Marquen cada capa sobre la gráfica e identifiquen a qué altura empieza y termina cada una de ellas.
- Investiguen cómo se nombran las zonas donde la función cambia de pendiente y qué importancia tienen.

Las capas de la atmósfera y su composición

Como las condiciones de presión y temperatura cambian con la altura, cada capa de la atmósfera tiene una composición determinada y los procesos que en ellas se llevan a cabo también son diferentes.

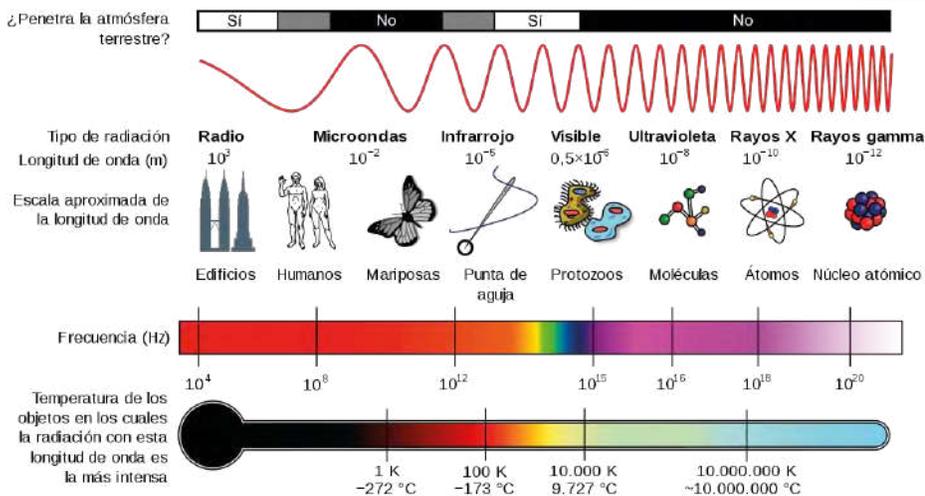


Visita la página <https://bit.ly/3YwYUIG> y, con la información que ahí se encuentra, completa el siguiente cuadro y contrasta los datos con los obtenidos en tu gráfica.

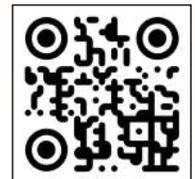


Capa de la atmósfera	Ubicación	Intervalo de temperaturas	Composición	Otras características

Cuando las radiaciones alcanzan a la materia



El 90 % del ozono que existe en la atmósfera se encuentra en la estratosfera y se forma por un ciclo de reacciones fotoquímicas propiciadas por la radiación ultravioleta (UV) que llega del Sol.



Busca la siguiente animación <https://bit.ly/443wIEI>.

Anota en el siguiente cuadro el efecto que tiene cada radiación sobre las moléculas que se indican:

1. Clasifica las moléculas según el tipo de comportamiento que presentan al interactuar con las distintas radiaciones e indica las diferencias.
2. ¿Qué característica de la radiación es la que provoca estas diferencias?
3. Plantea una hipótesis sobre por qué las moléculas de cada grupo que identificaste presentan comportamientos similares al ser expuestas al mismo tipo de radiación y con radiaciones distintas.

Efectos de la radiación				
Molécula	Microondas	IR	Visible	UV
CO				
CO ₂				
O ₂				
N ₂				
O ₃				
H ₂ O				
NO ₂				
CH ₄				

► ¿Cómo es que se está adelgazando el filtro que permite la vida?

Investiga en qué se usan cada una de estas sustancias y su respectiva fórmula. En equipos de tres integrantes, propongan hipótesis sobre cómo actúan estos compuestos al entrar en contacto con el ozono de la estratosfera. Anoten sus respuestas en las columnas correspondientes.

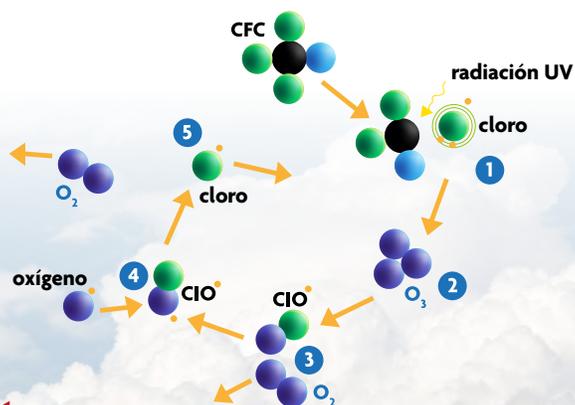
Sustancia	Usos	Fórmula	Hipótesis de cómo actúa sobre las moléculas de O_3
Clorofluorocarbonos (CFC)			
Hidroclorofluorocarbonos (HCFC)			
Óxidos nitrogenados			
Hidrocarburos halogenados (halones, bromofluorocarbonados)			
Tetracloruro de carbono			

Algunas de las causas que ocasionaron el adelgazamiento de la capa de ozono en la estratosfera fue el uso de sustancias que seguimos utilizando cotidianamente: gases refrigerantes, gases propelentes de esprays, etc.



► La química de la estratosfera

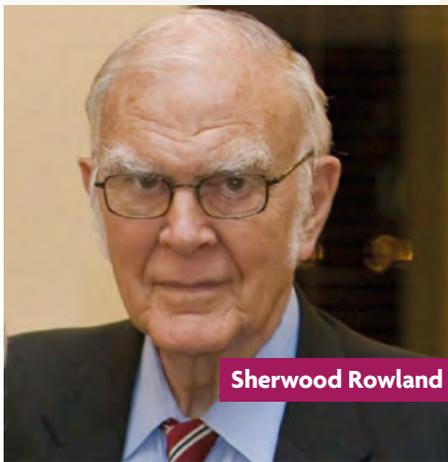
En 1930, Sidney Chapman propuso el ciclo de reacciones fotoquímicas que lleva su nombre y explica la formación y descomposición natural del ozono en la estratosfera. Argumentó que dichas reacciones requieren la presencia de luz UV de una energía específica: $240 < \lambda < 320$, que es la que tiene la luz solar entre los 15 y los 50 km de altura.



Analiza la siguiente imagen y escribe las ecuaciones químicas que representan el ciclo de destrucción del ozono en la estratosfera debido a los CFC. Contrasta tu propuesta con las hipótesis que construyeron en la actividad anterior y, con base en este análisis, propón la serie de ecuaciones químicas que se llevarían a cabo con las otras sustancias.

El Premio Nobel de Química de 1995

Para los ganadores del Premio Nobel de Química de 1995: Sherwood Rowland, Mario Molina y Paul Crutzen, no fue fácil entender la química de la estratosfera. Su adelgazamiento se debe a la presencia de gases que hemos liberado a la atmósfera, en especial los clorofluorocarbonos (CFC). Al llegar a la estratosfera y entrar en contacto con los rayos UV, estos gases generan una reacción química en la que se libera un átomo de cloro. Cada átomo de cloro liberado en la estratosfera actúa como catalizador, combinándose y descomponiendo cíclicamente hasta 100 mil moléculas de ozono antes de inactivarse. La reacción es extremadamente rápida a temperaturas menores de 78 °C.



Gracias al entendimiento de la química de la estratosfera y con la conciencia de que el problema es planetario y nos compete a todos, en 1990, México y otros 92 países firmaron el Protocolo de Montreal con el propósito de detener la emisión de CFC a la atmósfera para el año 2000 y se tomó la decisión de sustituirlos por los hidroclorofluorocarbonos (HCFC), que son compuestos gaseosos menos estables. Desafortunadamente, éstos también afectan a la capa de ozono. En dicho Protocolo se establecieron varias metas como lo indica la figura:



Los problemas ambientales nos afectan a todos, por ello, su conocimiento no sólo implica a la parte científica, es necesario tener presentes las repercusiones sociales, económicas y políticas, así como sus causas históricas. Sin estas relaciones no podremos entender de qué manera estos fenómenos afectan a nuestra vida diaria ni qué debemos hacer para mitigarlos.

De acuerdo con Michel Grutter de la Mora, investigador del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, el camino que se ha seguido para la recuperación del espesor de la capa de ozono ha sido exitoso, pero su deterioro es aún un problema sin resolver, por lo que es necesario mantener la vigilancia y continuar con las acciones para su preservación.

► ¡Pasa la voz!

Con los integrantes del grupo, formen cuatro equipos y rifen los bloques de preguntas indicados en diferentes colores.

1

¿Cuáles son y han sido las principales causas físicas, sociales, culturales y económicas que generan el adelgazamiento de la capa de ozono?

2

¿El impacto de este problema es planetario o local? Analicen la ubicación espacial y el tiempo de existencia.

3

¿Qué riesgos y consecuencias tiene el adelgazamiento de la capa de ozono en los sistemas naturales y en los seres humanos?

4

¿Cuáles son las implicaciones económicas de estos riesgos y consecuencias?

5

¿Cuáles son las propuestas de solución implementadas actualmente para disminuir el fenómeno?

6

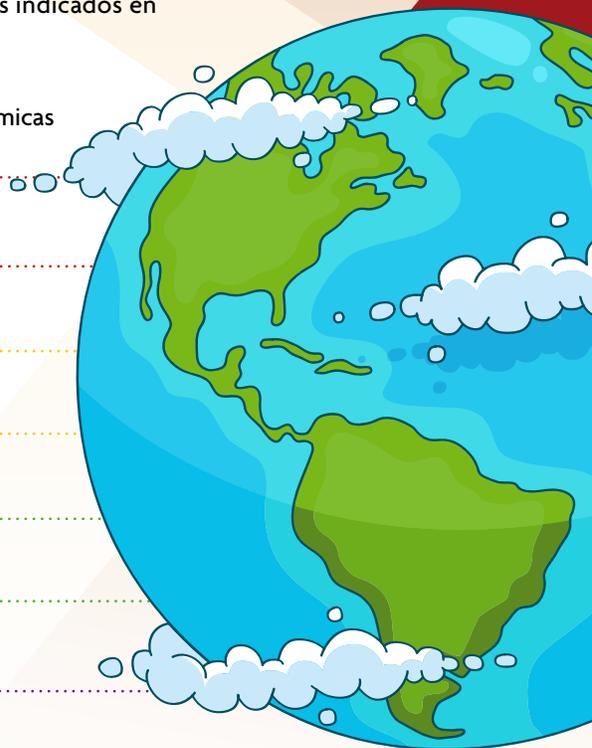
¿Cuáles son los obstáculos para el éxito de estas propuestas de solución?

7

¿Qué valores sociales, económicos, ecológicos, políticos, estéticos se involucran o infringen con estas soluciones?

8

¿Qué grupo(s) de personas deberían asumir el costo de estas soluciones?



Con base en lo estudiado en este fascículo y las investigaciones que consideren necesarias, acuerden posibles respuestas y discúptanlas con su profesor(a). Cada equipo deberá elaborar un tríptico con los acuerdos alcanzados, para presentarlos a sus compañeros de otros salones y grados.

Y después de todo esto...

¿Qué cambios podrías hacer en tu vida diaria para disminuir el adelgazamiento de la capa de ozono?

¿Qué políticas públicas consideras necesario exigir a las autoridades competentes, para mitigar este problema ambiental?

Para saber más



- Talanquer, V. & Pollard, J. (s.f.) *Chemical Thinking*. USA: University of Arizona.
- IDEAM (s.f.). *Formación y destrucción del ozono estratosférico*. Colombia: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Colombia. <https://bit.ly/3KHtkbQ>
- López, P. (2021). "Crean un podcast para analizar el cambio climático" en *Gaceta UNAM*. <https://bit.ly/3QGAlAQ>
- Grutter de la Mora, M. (2019). *El deterioro de la capa de ozono, un problema vigente*. UNAM: Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático. <https://bit.ly/3YBXfYP>
- Boxer, A. (2021). *Teach the real-world effects of climate change*. Education in Chemistry. RSC. <https://rsc.li/3s7SqKp>

RESPONSABLE ACADÉMICA Y COORDINADORA:

Glinda Irazoque

ASESOR GENERAL:

Vicente Talanquer

AUTORES:

Glinda Irazoque Palazuelos, Raúl Eduardo Coló Andrade, Alejandra López Carrillo, Nadia Teresa Méndez Vargas, Alan Javier Pérez Vázquez y Rufino Trinidad Velasco

Coordinación de Comunicación, FQ

DISEÑO EDITORIAL: CORRECCIÓN DE ESTILO:

Sonia Barragán/Verónica García Brenda Álvarez

Proyecto apoyado por DGAPA-UNAM, a través del programa PAPIPE PE216320. Publicación autorizada por el Comité Editorial de la Facultad de Química.

ISBN de la colección: 978-607-30-5303-7 • ISBN del volumen: 978-607-30-8963-0



libros
UNAM
OPEN ACCESS



9 786073 089630

www.librosoa.unam.mx