

Patricia Velázquez Gómez

César Robles Haro

ANTOLOGÍA

ANTOLOGÍA
QUÍMICA I
UNIDAD II

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES



QUÍMICA I

UNIDAD II

ANTOLOGÍA

Patricia Velázquez Gómez

César Robles Haro

Antología. Química I. Unidad II

Primera edición: Octubre de 2021.

D.R. © Patricia Velázquez Gómez

D.R. © César Robles Haro

Diseño de la Colección: D.R. © Mario Palomera Torres

ISBN: 978-607-30-5249-8

ISBN de la Colección: 978-607-30-5239-9

D.R. © UNAM 2021, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Ciudad Universitaria, alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, CDMX.

COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

Insurgentes Sur y Circuito Escolar, Ciudad Universitaria,

México, C.P. 04510, CDMX.

www.cch.unam.mx

Esta edición y sus características son propiedad
de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio,
sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Hecho en México - *Made in México.*

ÁREA CIENCIAS EXPERIMENTALES

Índice

Presentación	9
--------------	---

UNIDAD II

Oxígeno, sustancia activa del aire

<i>Pesar el aire</i> (Hernández, V.)	12
---	----

<i>Temporada de Ozono</i> (Galicía, E.)	18
--	----

<i>Voluntarios ciclistas por un aire más limpio</i> (León, B.)	26
---	----

<i>Océanos corrosivos</i> (Murray, G. y Donnet, B.)	36
--	----

<i>Aire Limpio, ¿un milagro?</i> (Uruchurtu, G.)	45
---	----

<i>Cambio climático ¿Qué sigue?</i> (Zavala, J. y Romero, R.)	56
--	----

<i>Las sustancias químicas antes y después de la tabla periódica</i> (Chamizo, J. A.)	68
--	----

Enlaces Químicos (s/a) 81

De las propiedades de las sustancias a las interacciones químicas (Sosa, P. Hernández, G., Nieto, E. y Padilla, K.) 94

Fuentes institucionales y didácticas 131

Presentación

La piedra de toque y el punto de inflexión de la alquimia a la química.

La naturaleza de los gases fue durante mucho tiempo una incógnita, es cierto que no somos del todo ajenos a la existencia de los gases pues se percibe el aire cuando sopla; pero a menudo se es ignorante de él, pues en su ligereza y transparencia, nos da por pensar apenas en su existencia; tan cierto es esto que muy probablemente hayas pensado lo mismo. Los gases son interesantes y locos: ocupan todo el espacio que pueden, apenas y puede percibirse su masa; cambian de manera “volumbrosa” su volumen con la presión y la temperatura. De tan loco comportamiento y de su evidente ligereza el origen de su nombre dado por un iniciado de la alquimia: gas es sinónimo de caos, esto es la materia sutil, sin forma.

De la mano de otro buscador de verdades, Lavoisier, vendría el tránsito de la alquimia a la química: ahora al estudiar este caos, se vería que en él hay varios “caositos”, esto es, varios gases, y uno de ellos daría la herramienta clave para entender asuntos tan diversos como la necesidad de respirar para mantener la vida, para formar sales y ácidos, y posteriormente para inventar

y después ratificar la existencia de los átomos, estamos hablando del oxígeno. Y sobre este gas girarán muchas de las lecturas, seguro te intrigamos en lo que viene, espéranos un poco.

Las lecturas siguientes tienen como propósito acompañarte en tu aprendizaje, aportándote, con la ayuda de tu maestro, información que puedes y debes analizar con ojo crítico para extraer de ellas no sólo datos, también conocimiento. Te acompañarán en entender porque no hay un solo tipo de aire en el aire, sino que este es una mezcla, también podrás entender como los experimentos nos ayudan a aclarar cosas tan difíciles de agarrar como el aire, pero que nos sirven para fundamentar nuestros dichos y transforman o contradicen nuestras creencias. Profundizarás en el conocimiento de la estructura de la materia que has iniciado en la primera unidad, y utilizarás este conocimiento para entender cómo se organizan las sustancias simples y de qué forma este conocimiento resulta de sus propiedades.

También comprenderás con ayuda de las lecturas que te proponemos cómo los elementos se unen para formar compuestos, y como pueden predecirse sus propiedades y por último, pero no menos importante, por qué es necesario comprender y aprender química si queremos seguir respirando un aire sano.

Algunas lecturas son divertidas, en otras vas a necesitar ayuda de tus compañeros y maestro para entenderlas mejor. No te desespere. Al final, el tiempo invertido valdrá la pena.

UNIDAD II

Oxígeno, sustancia activa del aire

Pesar el aire

Aprendizaje (s)

1. Caracteriza al aire como una mezcla al identificar experimentalmente que contiene más de una sustancia, trabajando de manera ordenada y respetuosa. (N₂)
3. Reconoce la importancia de la ciencia y el uso de argumentos basados en evidencias para discutir y resolver problemas de importancia económica, social y ambiental, al estudiar el debate en torno del efecto de invernadero y el cambio climático. (N₂)

Ficha bibliográfica del texto o material

Hernández, C. (2017) “Pesar el aire”, *¿Cómo ves?* No. 222, pp. 16-18.

Sinopsis

El texto relata los experimentos de Torricelli y Pascal para llegar al concepto de presión. La descripción de los expe-

rimentos permiten al lector reconocer las etapas de una investigación científica y cómo dos personas en diferentes lugares, pero siguiendo la metodología científica, llegan a las mismas conclusiones. Esto es abordado desde la visión de la historia. También, se introduce el concepto de vacío.

Justificación

El artículo apoya a los aprendizajes 1 y 3, de la Unidad 2. Oxígeno, sustancia activa del aire, del Programa de estudios de Química I. Ya que es importante, clasificar al aire, no solo como una mezcla, sino también, como un gas, por lo que hay que recalcar las propiedades de los gases. De la misma forma, es necesario que el alumno reconozca la importancia de la ciencia y el uso de argumentos basados en evidencias para discutir y resolver problemas de importancia económica, social y ambiental.

Sugerencias de actividades de aprendizaje:

Momento de uso: Inicio de unidad.

Forma de trabajo: Individual.

Instrucciones: Solicite a los alumnos la lectura del texto y pídales que conteste las siguientes preguntas:

1. Explica con tus propias palabras los experimentos que realizaron Torricelli y Pascal, puedes ayudarte con un esquema.

2. En el penúltimo párrafo del artículo dice:

La columna de mercurio variaba inversamente con la altitud, justo como lo esperaban: a mayor altitud en la montaña, menor altura en la columna de mercurio (pág. 18)
¿qué significa esta afirmación?

3. En el artículo mencionan el concepto de presión, investiga la definición de ese concepto, así como las unidades en que se puede expresar.

4. ¿Qué relación encuentras entre la presión con el aire?

5. ¿Cuáles son las magnitudes que influyen marcadamente en los gases?



Pesar

Los experimentos de Torricelli y Pascal

La historia de cómo Evangelista Torricelli y Blaise Pascal —dos físicos y matemáticos europeos separados por cientos de kilómetros— de manera independiente ayudaron a resolver una inquietud galileana.

La naturaleza tiene “horror del vacío”, se decía otrora para explicar por qué sube el agua por una tubería conectada a una bomba de succión. Todo artesano de la plomería sabía, empero, que, por más que se succione, el agua jamás rebasará cierta altura inamovible. Galileo no pudo explicarlo, pero su alumno Evangelista Torricelli y el científico y escritor francés Blaise Pascal sí.

Esta historia comienza en Faenza, Italia, en 1608, cuando Caterina y Gaspare Torricelli dieron la bienvenida al mayor de sus hijos: Evangelista. Torricelli mostró un gran talento para las matemáticas desde pequeño, pero sus padres no tenían los recursos suficientes para pagar una escuela, así que lo enviaron a un monasterio con su tío Jacopo. El tío y los demás monjes camaldulenses lo educaron y prepararon hasta que ingresó a un colegio jesuita en 1624.

Un año antes, en Clermont-Ferrand, Francia, nació Blaise (o Blas), el hijo menor de la familia Pascal. La salud de

Blaise siempre fue de mala a regular y sus hermanas se encargaron de cuidarlo luego de que su madre, Antoinette, muriera cuando él tenía tres años. Pascal también mostró un talento especial para las matemáticas desde pequeño. De hecho, era un niño prodigio, pero casi no podía salir de casa, así que fue su propio padre, Étienne, quien lo educó.

Misterio hidráulico

En el libro *Discursos y demostraciones matemáticas* sobre dos nuevas ciencias de Galileo, escrito en forma de diálogo entre tres personajes, Sagredo (uno de éstos, basado en un amigo real de Galileo) cuenta sus dificultades para hacer subir agua a lo alto de una torre con una bomba de succión. Esta bomba tenía un pistón y una

COMPANEROS INSEPARABLES

Torricelli fue alumno del físico y matemático italiano Benedetto Castelli, pero su talento pronto sobrepasó el de su tutor y fue invitado a viajar de Roma a Florencia para trabajar con Galileo. Torricelli fue el compañero inseparable de Galileo durante los últimos meses de su vida y heredó su puesto como filósofo y matemático del gran duque Fernando II de Médici y como profesor de matemáticas en la Academia de Florencia.

el aire

Por Claudia Hernández García



Blaise Pascal (eniguen: Wellcome Library, Londres).

válvula en la parte superior y hacía que el agua subiera por aspiración, como cuando bebemos agua con popote. El asunto es que la bomba sólo funcionaba mientras el agua de la cisterna no bajara de cierto nivel. Suponiendo que la bomba tenía un defecto, llamó a un plomero para que la arreglara. El plomero, para sorpresa de Sagredo, le dijo que el problema no era la bomba, sino en el nivel del agua, que estaba demasiado bajo. "Añadió también", dice Sagredo en el libro, "que no era posible hacerla subir un pelo más arriba de dieciocho brazas (unos 10 metros) ni con bombas ni con cualquier otra máquina hecha para elevar el agua por aspiración. Este límite es inalterable, tanto si son anchas como si son estrechas las bombas."

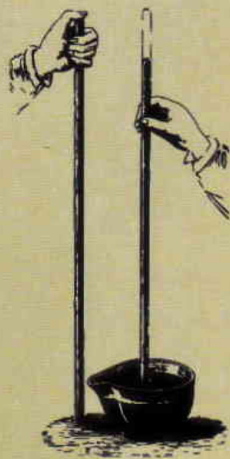
Mientras que otros se conformaban con pensar que así son las cosas y punto, Galileo quiso saber por qué. Nunca lo logró. Un año después de la muerte de Galileo, Torricelli, discípulo y amigo suyo, encontró la respuesta.

Horror del vacío

"Vivimos en el fondo de un mar de aire", escribió Torricelli a su amigo Michelangelo Ricci en junio de 1644. Ese aire pesa. Torricelli pensaba que el peso del aire (hoy diríamos más bien la presión) era lo que empujaba el agua hacia arriba por

un tubo cuando se accionaba una bomba como las que describe Sagredo en *Dos nuevas ciencias*. La columna de agua no podía rebasar cierta altura, por potente que fuera la bomba, simplemente porque el peso del aire que la impulsa no rebasa cierto valor. Si su razonamiento era correcto, entonces el peso del aire tendría que poder levantar también columnas de otros líquidos. Torricelli usó mercurio por ser un líquido 13 veces más denso que el agua, y calculó que éste debía subir 1/13 de lo que subía el agua: unos 76 centímetros, en unidades de hoy.

Torricelli tomó un tubo de un metro de largo y lo llenó de mercurio hasta el borde. Luego tapó con un dedo el extremo abierto y lo metió invertido en una cubeta llena de mercurio. (Ahora sabemos que el mercurio es tóxico y sería riesgoso reproducir el experimento, así que no lo intenten en casa.) Destapando el extremo sumergido observó que el nivel del mercurio que inicialmente llenaba el tubo bajaba y se detenía a la altura de la marca de



Torricelli tomó un tubo y lo llenó de mercurio hasta el borde. Luego tapó con un dedo el extremo abierto y lo metió invertido en una cubeta llena de mercurio.

i

MÁS INFORMACIÓN

- Fermat, Pierre de, *La geometría del azar: la correspondencia entre Pierre de Fermat y Blaise Pascal*, Nivola, Madrid, 2007.
- García Merayo, Félix, *Pascal: un genio precoz*, Nivola, Madrid, 2007.
- "Evangelista Torricelli", Escuela de Ingeniería de Antioquia: goo.gl/rLPH8F

los 76 centímetros (o un brazo, un cuarto más un dedo, como reporta Torricelli), justo como lo había previsto. Torricelli repitió el experimento varias veces con tubos de diferentes anchos y comprobó que el nivel del mercurio siempre se estabilizaba a la misma altura.

Según una teoría que se originó en el siglo IV a.C. y aún era popular en el XVII, la naturaleza aborrece el vacío, y por lo tanto éste no puede existir. Muchos fenómenos, como la succión, se explicaban por medio de este supuesto horror al vacío. Por ejemplo, en un popote, uno trata de hacer el vacío en el extremo superior succionando con la boca; según esa teoría, como la naturaleza aborrece el vacío, el agua sube por el popote para llenar el hueco que dejaría el aire que extraemos por succión.

Mil años después, la mayoría de los filósofos naturales —a quienes llamaríamos científicos hoy en día— ya no dudaban de la existencia del vacío, aunque creían que no se podía producir por medio de fuerzas "naturales". Pero en su interpretación del experimento del tubo de mercurio, Torricelli propuso que el espacio que queda entre el extremo superior tapado del tubo y la columna de mercurio es, precisamente, un vacío. Para demostrarlo, echó agua sobre el mercurio de la cubeta hasta llenarla y alzó el tubo hasta que la parte inferior abierta y sumergida en el mercurio llegó a la capa de agua. "Cuando la boca del vaso llegaba al agua", escribió, "el nivel del mercurio bajaba y el vaso se llenaba de agua con un ímpetu horrible."

Física de altura

Años después, en 1646, el ingeniero Pierre Petit visitó a Blaise Pascal en Rouen, ciudad del norte de Francia, y le habló de los experimentos que Torricelli había llevado a cabo en Italia. Pascal pensó que si, en efecto, vivimos en el fondo de un mar de aire, la presión debería disminuir con la altura, como había previsto Torricelli, y se decidió a demostrarlo. Su salud no representó ningún problema porque convenció de ayudarlo a su cuñado, Florin Périer.

AIRE CONTRA MERCURIO

El barómetro —del griego *baros* que significa "peso"— es un instrumento que compara dos pesos: en el caso del barómetro de Torricelli, el peso de una columna de aire contra el de una columna de mercurio. Actualmente se utilizan diversas unidades para medir la presión: una es el torr, en honor a Torricelli, y la otra, que usa el Sistema Internacional de Unidades, es el pascal (Pa).

Pascal preparó dos tubos de Torricelli y Périer ascendió al Puy de Dôme, volcán de 1400 metros de altura ubicado junto a Clermont-Ferrand. Uno de los tubos permaneció en la base de la montaña, a la vista de una persona que se encargó de vigilarlo todo el día y de anotar todos los cambios de nivel del mercurio. Mientras tanto, Périer y otros dos testigos hicieron lo mismo en la cima y en dos puntos intermedios del ascenso. A su regreso al pie de la montaña, determinaron que la columna de mercurio en la cima bajó casi ocho centímetros respecto a la del tubo que se quedó abajo. El vigilante del tubo de abajo reportó además que el nivel del mercurio había permanecido constante todo el día a pesar de que hubo momentos de nubosidad, viento y lluvia (vaya, un día tan versátil como los que solemos tener en la Ciudad de México). La columna de mercurio variaba inversamente con la altitud, justo como lo esperaban: a mayor altitud en la montaña, menor altura en la columna de mercurio.

Pascal publicó los resultados de este experimento en un tratado sobre el equilibrio de los fluidos dos años después, pero Torricelli no se enteró, porque murió de fiebre tifoidea en 1647. Tenía 39 años, los mismos que Pascal cuando murió, en 1662, probablemente de tuberculosis. Con sus experimentos, Torricelli y Pascal asestaron el golpe de muerte a la teoría del horror al vacío, demostraron que el aire pesa, y de paso inventaron el barómetro de mercurio. ●



Experimento de Périer en el Puy de Dome para medir la presión atmosférica con un tubo de Torricelli, 1646 (en Louis Figuier, *Les merveilles de la science*, Vol. 1, 1867).

Claudia Hernández García estudió matemáticas y filosofía de la ciencia en la UNAM. Se ha dedicado a la comunicación de la ciencia por más de 18 años; desde 2015 es parte del equipo de *¿Cómo ves?*

Temporada de ozono

Aprendizaje (s)

6. Comprende el potencial de los seres humanos para modificar su ambiente al obtener y caracterizar óxidos metálicos y no metálicos mediante su reacción con agua y la identificación del carácter ácido o básico de los productos. (N₃).

Ficha bibliográfica del texto o material

Galicia, E. (2016) “Temporada de OZONO”, *¿Cómo ves?* No. 212, pp. 30-33.

Sinopsis

Los procesos químicos que producen el ozono contaminante resultan más complejos de lo que se pensaba, pues en nuestro entorno hay una gran cantidad de compuestos que posibilitan su formación. En el texto se cuestiona ¿cómo es posible que este gas pueda protegernos de la radiación ultravioleta proveniente del sol y que al mismo tiempo afecte la salud.

El ozono de la estratósfera (a más de 16 km de nosotros) es donde tiene efectos positivos, este gas triatómico, en este lugar tiene una concentración tan alta que forma una capa que protege a nuestro planeta de los rayos ultravioleta provenientes del sol.

En cambio, el ozono de la troposfera actúa como un gas de efecto invernadero, atrapa el calor y contribuye al calentamiento global.

Justificación

El artículo apoya al aprendizaje 2, de la Unidad 2. Oxígeno, sustancia activa del aire, del Programa de estudios de Química I. La lectura del texto permitirá al alumno identificar al ozono como un alótropo del oxígeno y el papel del primero en el mantenimiento de la vida.

Sugerencias de actividades de aprendizaje

Momento de uso: Desarrollo.

Forma de trabajo: Individual.

Instrucciones:

Solicite la lectura del artículo y pida a los alumnos que desarrollen las siguientes actividades:

1. Explica con tus propias palabras el esquema titulado “El bueno y el malo” que aparece en la página 32.
2. Explica el esquema de la parte baja de la página 33, para ayudarte te sugerimos que consultes las siguientes direcciones electrónicas <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/TEMPORADA-OZONO-2020.pdf> y <https://cnnespanol.cnn.com/video/agujero-cap-a-ozono-artico-record-mas-grande-vortice-polar-pkg-digital/>
3. Con relación al tema, es importante que conozcas un poco del trabajo del Dr. Mario Molina, para ello revisa el siguiente video y escribe un comentario de la obra de este científico (mínimo 10 renglones) <https://www.youtube.com/watch?v=iC8epGF4oeo>

Temporada de OZONO

Por Efraín S. Galicia

Los procesos químicos que producen el ozono contaminante resultan más complejos de lo que se pensaba, pues en nuestro entorno hay una gran cantidad de compuestos que posibilitan su formación.

Foto: Shutterstock

Todo comenzó una mañana de primavera. Me levanté temprano como de costumbre y fui a la ventana; la abrí esperando respirar aire fresco, pero estaba la terrible y grisácea nata de esmog. Nuevamente la ciudad estaba en contingencia ambiental por la mala calidad del aire. Encendí la computadora para escuchar las noticias y mantenerme informado. El índice de ozono en el aire de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México superaba los 150 puntos en el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), según el informe de la Comisión Ambiental de la Megalópolis.

REGISTRO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL VALLE DE MÉXICO

- **Buena:** 0-50 puntos IMECA. Calidad del aire satisfactoria y sin riesgo para la salud de la población.
- **Regular:** 51-100 puntos IMECA. Calidad del aire aceptable, sin embargo algunos contaminantes pueden afectar la salud.
- **Mal:** 101-150 puntos IMECA. Puede afectar la salud de algunos grupos sensibles a los contaminantes.
- **Muy mal:** 151-200 puntos IMECA. Afecta la salud de toda la población, principalmente de las vías respiratorias. En este intervalo se activan las Fases de Precontingencia Ambiental y Contingencia Fase 1 del Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA) del Valle de México.
- **Extremadamente mala:** IMECA mayor a 200 puntos. La población en general puede experimentar problemas graves de salud.

El IMECA es un indicador diseñado en 1982 que se emplea para informar a la población sobre los niveles de contaminación del aire y si éstos implican un riesgo para la salud. El puntaje se obtiene a partir de distintas mediciones que realiza el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) a lo largo del día. Se miden contaminantes como dióxido de azufre (SO_2) y de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO), ozono (O_3) y otras partículas menores a 10 milésimas de milímetro (PM_{10}) dispersas en el aire.

Como explicó en la revista *Ciencias* de la UNAM (No. 22) el ecólogo Exequiel Ezcurra, actual director del Insti-

tuto para México y Estados Unidos de la Universidad de California en San Diego, este índice se basa en una metodología sencilla de cálculo que parte de dos "puntos de quiebre"; es decir, valores estadísticamente conocidos por encima de los cuales se sabe que ocurren alteraciones significativas en la fisiología de las poblaciones humanas. Cuanto más alto es el puntaje, mayores son los efectos dañinos sobre la salud.

Gas irritante

Recientemente el ozono ha estado haciendo de las suyas en la Ciudad de México. ¿Cómo es posible que este gas pueda protegernos de la radiación ultravioleta proveniente del Sol y que al mismo tiempo afecte la salud? De acuerdo con un informe de la Comisión para la Cooperación Ambiental, el ozono troposférico o de bajo nivel —el que actualmente deambula por nuestra ciudad como agente contaminante— se produce cuando los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles (COV) reaccionan químicamente con la luz del Sol.

Los óxidos de nitrógeno se originan tanto en la quema de combustibles fósiles como en procesos industriales, mientras que los COV se derivan de los vapores de la gasolina, de los solventes químicos y de procesos biológicos como la descomposición de la materia orgánica. También hay fenómenos naturales como los incendios forestales y los rayos producidos durante las tormentas eléctricas que favorecen la formación de compuestos precursores del ozono.

Actualmente los expertos en esta área aseguran que los procesos químicos que originan el ozono troposférico son diversos y más complejos de lo que se pen-



Formación de ozono en las capas bajas de la atmósfera

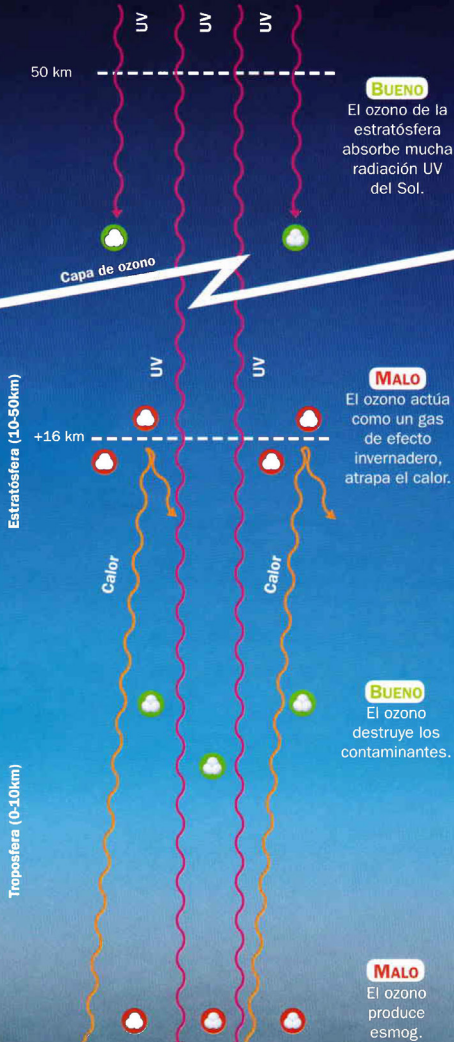
saba, pues hay muchos compuestos que favorecen la formación de ozono, entre ellos una amplia variedad de hidrocarburos, como el metano (CH_4). Por otra parte, se ha visto que en general los procesos que dan lugar a la contaminación atmosférica se llevan a cabo a escala regional, en lugar de ser solamente locales, y pueden ser resultado del transporte a lo largo de días de distintos contaminantes. Para el caso de la Ciudad de México esos contaminantes pueden provenir de zonas aledañas al valle donde se encuentra.

Como el ozono contaminante se forma por la reacción de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volá-

UN POCO DE HISTORIA

Según la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, de 1990 a la fecha los índices de contaminación del aire en la Ciudad de México disminuyeron de 400 a 155 puntos IMECA debido a distintas acciones: la reducción de azufre en los combustibles, lo que a su vez disminuyó las emisiones de dióxido de azufre (SO_2); la reforestación, que ayudó a reducir los niveles de dióxido de carbono (CO_2); el reemplazo de autos viejos por unidades con motores eficientes y el uso del convertidor catalítico, que reduce la emisión de gases precursores del ozono.

EL BUENO Y EL MALO



tiles con la luz solar, los niveles de este gas con frecuencia son mucho más altos durante los días soleados de la primavera y el verano. Por ejemplo, en Monterrey y en Guadalajara las cantidades de ozono en la atmósfera se incrementan durante la primera semana de febrero y bajan con la llegada de la temporada de lluvias durante el mes de junio. Abril y mayo son los meses en que la cantidad de ozono es más elevada y llega a rebasar los 100 puntos.

Otras ciudades del mundo están pasando también por una crisis ambiental a causa del ozono troposférico. En Madrid y Valencia, España, la contaminación por ozono aumentó 32% desde 2001, según investi-

gaciones coordinadas por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Otro ejemplo es Beijing, la capital de China, que desde 2005 ha rebasado los niveles máximos de contaminación a causa de la creciente industrialización y del gran tránsito vehicular, fenómeno que se repite también en Nueva Delhi, India. En Latinoamérica hay otras ciudades que comparten el mismo problema, como La Plata, en Argentina, Medellín y Bogotá, en Colombia, y Montevideo en Uruguay.

Cuantificar

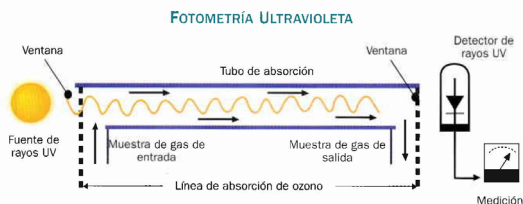
Se sabe desde hace mucho tiempo que el ozono acompaña a las tormentas eléctricas; quien lo identificó como elemento químico fue el sueco Friedrich Schönbein en 1839. Él observó la formación de ozono en la electrólisis del agua y a partir de este descubrimiento se empezó a investigar cómo cuantificar su presencia en la atmósfera. Las primeras mediciones consistieron en impregnar papeles con una solución de yoduro de potasio y almidón, que al ser expuestos al aire y reaccionar con el ozono se coloreaban de diferentes tonos de azul según los niveles de este gas. En 1920 el físico y meteorólogo británico Gordon Miller Bourne Dobson construyó el primer instrumento para medir el ozono total en cada región de la Tierra, llamado espectrofotómetro de ozono Dobson.

LAS BONDADES DEL OZONO

La cara noble de este gas triatómico y azulado se encuentra a más de 16 kilómetros de nosotros, en la estratósfera, donde se forma de distinta manera que el ozono contaminante. En este lugar su concentración es tan alta que forma una capa que protege a nuestro planeta de los rayos ultravioleta dañinos (UV-B) provenientes del Sol (que provocan cáncer de piel). El ser humano ha afectado esa capa, aunque lo que resultó no es propiamente un "agujero", sino que sobre la Antártida las moléculas de ozono prácticamente se han agotado por efecto de los clorofluorocarbonos (CFC); además, su tiempo de regeneración es mayor que el de pérdida. La regulación de los CFC logró que su uso disminuyera mucho en el mundo y quizá la capa de ozono se recupere por completo en las próximas décadas.

Por otra parte, como el ozono posee una gran reactividad —es el segundo oxidante más fuerte—, se emplea desde 1903 como bactericida, potabilizador de agua y para tratar olores derivados de procesos industriales.

En 2004, los odontólogos británicos George David Rickard y Robin J. Richardson sometieron a 137 personas con caries a un tratamiento bucal con ozono. De acuerdo con sus investigaciones, el ozono es un desinfectante versátil que elimina eficazmente bacterias causantes de la caries e inhibe su crecimiento.



Actualmente existen dos maneras de cuantificar la cantidad de ozono contaminante en la atmósfera. Una es la quimioluminiscencia en fase gaseosa, técnica que se basa en detectar los fotones (partículas de energía luminosa) producidos tras la reacción química entre el ozono y el etileno, uno de los compuestos orgánicos volátiles más comunes en el aire. Sin embargo, este método sólo es adecuado para medir concentraciones de ozono en el intervalo de 0.001 a 100 ppm (partes por millón). La otra manera es la fotometría ultravioleta, que consiste en medir la cantidad de luz ultravioleta, a una longitud de onda de 254 nanómetros, que absorbe el ozono presente en una muestra. Esta cantidad se compara con la cantidad de luz medida en una celda de referencia.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, en la zona centro del país el SIMAT esta formado por cerca de 45 estaciones que monitorean la calidad del aire. Estas cuentan con equipo e infraestructura básica para

operar de manera individual o en conjunto y para tomar muestras. Para la medición del ozono se emplean analizadores automáticos que utilizan el método de medición por fotometría ultravioleta.

Efectos, daños y el futuro

Los efectos del ozono en la salud humana se han estudiado durante más de tres décadas y sabemos que inciden principalmente en el sistema respiratorio. La exposición a este contaminante durante tiempos prolongados reduce la función pulmonar y dificulta la respiración debido a que daña las células pulmonares. Según el Instituto Mexicano del Seguro Social, el ozono troposférico puede causar además irritación ocular y del tejido conjuntivo de la nariz y la faringe, así como dolor de cabeza. En el caso de las personas que padecen asma se ha reportado un incremento en los ataques y otros síntomas respiratorios.

Desde mediados del siglo XX se han estudiado los efectos del ozono en la ve-

MÁS INFORMACIÓN

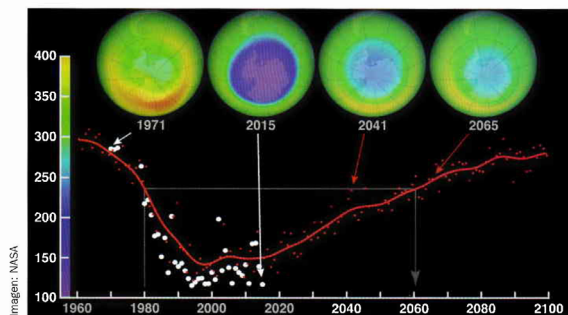
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, "Tercer almanaque, ozono (03)": www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/574/cap6.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente, Ciudad de México, Dirección de Monitoreo Atmosférico: www.aire.cdmx.gob.mx/
- "El ozono como contaminante del aire", Dirección de Monitoreo Atmosférico: www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/noticias/que-es-ozono/que-es-ozono.pdf

getación. Hasta el momento se tiene claro que este gas altamente oxidante causa manchas amarillas en las hojas, llamadas clorosis.

El ozono también daña materiales sintéticos empleados en la industria textil, como el poliéster, y se ha reportado que acelera el proceso de desgaste de diversas pinturas y recubrimientos.

En la actualidad hay varias redes de datos sobre el ozono troposférico de la Ciudad de México. Sin embargo, las medidas para reducir las emisiones de gases precursores del ozono, como los óxidos de nitrógeno, aún no están claras. Faltan todavía políticas públicas que regulen de manera eficaz las principales fuentes de estos compuestos, además de disminuir el consumo de combustibles fósiles como el diesel y la gasolina. Dentro de estas medidas debería estar un mayor uso de fuentes alternativas de energía, como la solar y la eólica, las cuales no generan contaminantes primarios. Y otra más, y quizá la más debatida: mejorar los sistemas de transporte público y de carga.

Es claro que en las últimas décadas hemos desarrollado tecnología que ha permitido disminuir la emisión de contaminantes a la atmósfera, pero ¿qué pasará después si ignoramos los problemas ambientales que nos aquejan? ¿Estaremos dispuestos a consumir aire embotellado traído de Canadá? 🐼



Recuperación del agujero de ozono sobre la Antártida gracias a las políticas de control de cloro-fluorocarbonos.

Efraín S. Galicia es biólogo egresado de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Actualmente es colaborador en el portal www.cienciarama.unam.mx y la Agencia de Noticias de Ciencia para Latinoamérica. @efraing



Temporada de Ozono (O_3)

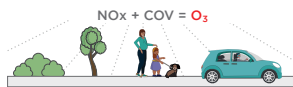
El ozono (O_3) es una molécula compuesta por tres átomos de Oxígeno, es un poderoso oxidante que reacciona rápidamente con otros compuestos químicos y en altas temperaturas se vuelve inestable.

El 90% del ozono se encuentra en la estratosfera región conocida como ozonósfera, a más de 20 km de la superficie. Forma una capa que limita el ingreso de la radiación ultravioleta proveniente del Sol.

En la superficie, el ozono en altas concentraciones es un contaminante del aire que provoca efectos nocivos en la salud humana, las plantas y los animales. Contribuye además al calentamiento global.



¿Cómo se forma?



El ozono es uno de los muchos compuestos que constituyen al smog fotoquímico y se forma durante complejas reacciones químicas, que involucran a los compuestos orgánicos de alta volatilidad (COV, son sustancias químicas) y los óxidos de nitrógeno (NOx). Estas reacciones son activadas por la energía solar.

Algunas de las principales fuentes de emisión de NOx y COV incluyen:



¿Qué es la temporada de ozono?

La temporada de ozono se refiere al periodo del año en el que la concentración de ozono alcanza los niveles más altos y además supera con mayor frecuencia los valores límites de la Norma (NOM-020-SSA1-2014). En el Valle de México inicia en febrero y concluye en junio.

El clima cálido y la radiación solar intensa ocasionan un aumento en la actividad fotoquímica de la atmósfera y favorece la formación de ozono. Algunos días, cuando se presenta un sistema de alta presión ocurre el estancamiento del contaminante y aumento de sus concentraciones. Incluso se pueden alcanzar niveles que activan la Fase de Contingencia Atmosférica.



Mantente informado de la calidad del aire donde te encuentres y atiende las recomendaciones. Si los niveles son altos reduce las actividades al aire libre entre las 13:00 y las 19:00 h.

La exposición a altas concentraciones de ozono pueden provocar:

- Irritación de nariz, ojos y garganta
- Tos y dificultad para respirar
- Dolor de cabeza
- Mayor susceptibilidad a infecciones respiratorias
- Se agravan padecimientos como asma, enflema y bronquitis crónica

Los grupos más vulnerables a los daños provocados por el ozono incluyen:

- Niños y niñas:** son un grupo de mayor riesgo debido a que pasan más tiempo al aire libre, son más activos físicamente y respiran más veces por minuto en comparación con un adulto, además de que su sistema respiratorio se encuentra en desarrollo.
- Las personas con enfermedades preexistentes:** son un grupo de mayor riesgo ya que por la presencia de dichas enfermedades se les dificulta combatir los efectos dañinos de la contaminación.
- Adultos mayores:** son un grupo de mayor riesgo porque sus cuerpos son menos capaces de defenderse de la inflamación que genera la contaminación, lo que podría propiciar y de combatir las infecciones.
- Mujeres embarazadas:** son un grupo de mayor riesgo debido a que pasan tiempo al aire libre expuestas a la contaminación, lo que podría propiciar un parto prematuro o tener un bebé con bajo peso al nacer.

¿Qué podemos hacer para reducir la emisión de contaminantes precursores del ozono y contribuir a mejorar la calidad del aire?



Puedes consultar el Índice AIRE Y SALUD en

Voluntarios ciclistas por un aire más limpio

Aprendizaje (s)

3. Reconoce la importancia de la ciencia y el uso de argumentos basados en evidencias para discutir y resolver problemas de importancia económica, social y ambiental, al estudiar el debate en torno del efecto de invernadero y el cambio climático. (N2)

Ficha bibliográfica del texto o material

León, B. (2018) “Voluntarios ciclistas por un aire más limpio”, *¿Cómo ves?* No. 240, pp. 8-13.

Sinopsis

El texto trata de un proyecto ciudadano, realizado en la Universidad de Navarra, y financiado por el programa Life+Respira de la Unión Europea. El proyecto contaba con 50 detectores que los voluntarios podían reservar y tomar prestados por medio de una aplicación informática, más unos cuantos detectores en posiciones fijas como referencia que

funcionaban continuamente. Los detectores móviles acumularon 15,000 horas de registro de datos y los fijos 60,000 horas. El producto del análisis de estos datos son mapas del estado de los contaminantes en cada momento y en toda la ciudad. Los mapas se elaboraron a partir de los datos de los sensores y de una simulación por computadora que calcula la distribución y circulación de los contaminantes en la ciudad. Esta simulación incluye los efectos de los edificios y de los árboles, e incluso toma en cuenta la densidad del follaje de los árboles, que cambia con las estaciones. Los resultados de la simulación coincidieron bien con los datos de los sensores. Algunos resultados del proyecto no sorprenderán a nadie —como que en los parques hay menos contaminantes que en las calzadas, o que en semáforos, rotondas y cruces hay concentraciones mayores que en las vías rápidas—. Pero otros son más inesperados; por ejemplo, que los árboles en las calles pueden tener un efecto nocivo: evitar la dispersión de los contaminantes, por lo que hay que pensárselo bien antes de arbolar las calles.

Justificación

El artículo apoya a los aprendizajes 3 y 14, de la Unidad 2. Oxígeno, sustancia activa del aire, del Programa de estudios de Química I.

El texto nos brinda el contexto para que el alumno reconozca la importancia de la ciencia y el uso de argumentos basados en evidencias para discutir y resolver problemas de

importancia económica, social y ambiental, al estudiar el debate en torno a la contaminación del aire.

Además, el estudiante tiene la oportunidad de comunicar adecuadamente por escrito y de forma oral sus conocimientos sobre los temas estudiados, al explicar cómo sus acciones cotidianas pueden repercutir en la modificación del ambiente y asume su responsabilidad en la conservación del mismo.

Sugerencias de actividades de aprendizaje

Momento de uso: Inicio de la unidad.

Forma de trabajo: pequeños grupos colaborativos.

Instrucciones:

Solicite la lectura del texto en equipos, solicite que a partir de la información del mismo identifiquen cual es la secuencia de un proyecto. Los equipos deben encontrar de forma parafraseada los siguientes componentes:

1. Identificación del problema

- a) Identificar un problema importante que afecte a la comunidad y requiera de una política pública.
- b) Recoger abundante información acerca del problema.
- c) Determinar la instancia gubernamental de la cual depende el problema seleccionado.

2. Revisión de la legislación y de las políticas públicas existentes.

a) Investigar si existen leyes y políticas públicas que el Estado ha establecido respecto al problema seleccionado y si se están cumpliendo.

b) Analizar otras políticas que hayan sido presentadas por otros grupos o personas para resolver el mismo problema u otro similar.

3. Elaboración de una política pública alternativa.

Elaborar su propia propuesta de política pública que, en su opinión, solucionará el problema seleccionado. Se sustentará apropiadamente su propuesta.

4. Elaboración del plan de acción.

Elaborar el plan de acción que se realizará a fin de que su propuesta de política pública sea tomada en cuenta para su implementación por la instancia gubernamental correspondiente.

En caso de que haya faltantes, oriente los comentarios sobre la lectura de forma que sean evidentes todos los puntos. Posteriormente, cuando todos los equipos tengan los componentes del proyecto completos, solicite que para cada uno de ellos escriban cómo se trató en el documento. Haga que en sus equipos formulen una propuesta de proyecto. En esta construya de manera conjunta un cronograma, para que trabajen en el durante el desarrollo de la unidad y puedan presentar al final sus resultados.

Voluntarios

La contaminación del aire causa cada año más de tres millones de muertes prematuras en todo el mundo; más de 20 000 sólo en México. En la ciudad de Pamplona, España, un grupo de científicos desarrolló un proyecto para analizar los niveles de contaminación con un grado de detalle nunca antes alcanzado.

La idea surgió hace varios años, en una conversación entre los biólogos Jesús Miguel Santamaría y Arturo Ariño, de la Universidad de Navarra. Siendo ambos usuarios habituales de la bicicleta, les preocupaba que, al circular entre coches, el esfuerzo físico que realizaban les pudiera llevar a respirar demasiado aire contaminado y paradójicamente poner en peligro su salud. Después de ir perfilando los detalles durante varios años, finalmente presentaron un proyecto al programa Life+ de la Unión Europea, del que obtuvieron un financiamiento de 1 100 000 euros (la mitad del costo del estudio).

Un proyecto de ciencia ciudadana

Una vez conseguidos los recursos, el siguiente paso estaba claro: “necesitábamos realizar una recolección masiva de datos, para lo que teníamos que contar con un grupo grande de voluntarios”, recuerda Arturo Ariño. Life+Respira es un ejemplo de lo que se conoce como *ciencia ciudadana*: el tipo de investigación en la que los ciudadanos participan activamente en el proceso.

Aunque al principio estaba previsto contar con 50 voluntarios, pronto se vio que era preferible que fueran muchos más. Para formar este grupo se realizó una campaña con anuncios en la prensa

ciclistas

por un aire más limpio

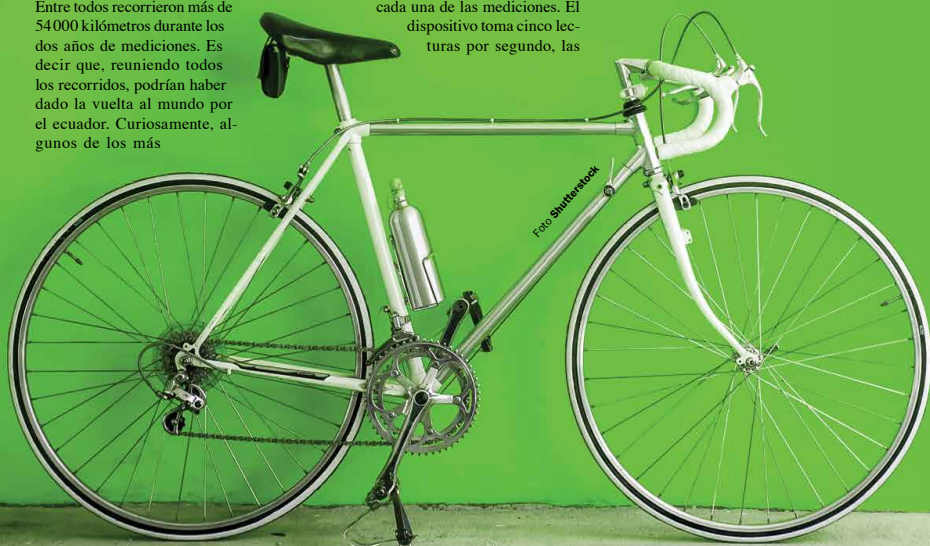
Por Bienvenido León Anguiano

local, carteles, folletos y mensajes en las redes sociales. La piedra angular de esta campaña fue un video que buscaba "superhéroes" capaces de moverse en bici por la ciudad (www.youtube.com/watch?v=vV--11135KA). Gracias a estas acciones, la lista aumentó hasta llegar a los 200 voluntarios, incluyendo desde jóvenes universitarios de menos de 20 años, hasta jubilados de más de 70.

Entre todos recorrieron más de 54 000 kilómetros durante los dos años de mediciones. Es decir que, reuniendo todos los recorridos, podrían haber dado la vuelta al mundo por el ecuador. Curiosamente, algunos de los más

veteranos fueron quienes más kilómetros recorrieron.

Cada uno de estos voluntarios transportó en su bicicleta un aparato especialmente diseñado para el proyecto que permite medir los niveles de los principales contaminantes urbanos: dióxido de carbono, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno. Además, estos dispositivos cuentan con un GPS capaz de ubicar cada una de las mediciones. El dispositivo toma cinco lecturas por segundo, las





Fotos Shutterstock.com

Cozumel.

Los setos junto a los carriles de bicis reducen la contaminación pero los árboles pueden impedir la dispersión de contaminantes.

cuales se promedian cada 10 segundos. Los datos acumulados y la ubicación de cada lectura se transmiten cada media hora a una gran computadora central, donde se almacenan.

Problemas

Cabría pensar que los científicos siempre lo tienen todo controlado. En realidad, en un proyecto de investigación tan complejo como éste surgen dificultades que ponen a prueba la capacidad y el ingenio de los investigadores. En este caso, uno de los primeros problemas fue la falta de precisión de los receptores de GPS. El estudio



Cholula.



Toluca.

requería ubicar cada medición de forma muy precisa, sin embargo, se comprobó que los receptores de GPS podían desviarse más de 20 metros, demasiado para los objetivos del proyecto.

Por eso fue necesario hacer pruebas con varios receptores simultáneamente y estudiar las discrepancias entre ellos. A partir de esas mediciones se pudieron delimitar los puntos medios, lo que reducía notablemente las desviaciones y permitía situar las bicicletas en la ciudad con una precisión de entre cinco y siete metros. A partir de aquí se ideó un sistema por el que los voluntarios debían confirmar en una computadora la ruta que habían seguido. Y de esta forma se logró la precisión necesaria para determinar si el ciclista circulaba por la calzada, por la acera o por el carril para bicis, lo cual fue fundamental para el proyecto.

La segunda gran dificultad fue gestionar la enorme cantidad de datos informáticos que se generaron. Cada sensor medía niveles de contaminantes cada 10 segundos. Con 50 captadores que estuvieron circulando durante dos años, en total se generaron alrededor de 50 terabytes; es decir, la cantidad de datos que consumiría uno de nuestros teléfonos móviles durante unos 800 años.



Guadalajara.



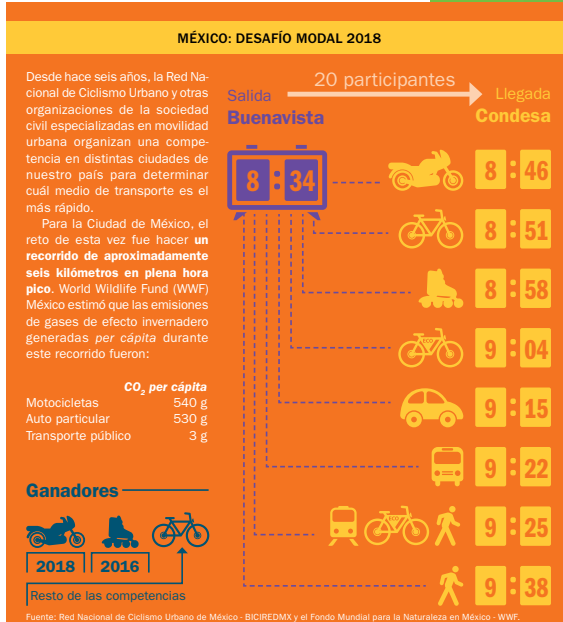
Cd. de México.

Toda esa información se almacenó en unas supercomputadoras para después ser procesada. Las mediciones demostraron que la contaminación no se distribuye por la ciudad de manera uniforme, sino que varía mucho de unos puntos a otros. Los semáforos, donde los coches se detienen constantemente, son los puntos negros de la contaminación urbana. También se comprobó que los niveles de contaminación varían mucho con la hora del día, como se puede apreciar en el mapa animado (www.youtube.com/watch?v=WYIRI6Mws5Y) que crearon los investigadores a partir de las mediciones realizadas.

Predecir la contaminación

Los datos recogidos permitieron crear un modelo capaz de predecir los niveles de contaminación en la ciudad. Este modelo predictivo hace posible también calcular las rutas menos contaminadas para desplazarse por la ciudad, ya sea en bicicleta o caminando.

Tratar de predecir cómo se van a comportar los contaminantes no es nada sencillo, ya que depende de factores como la dirección del viento, la anchura de la calle y los obstáculos que aparecen, por ejemplo, edificios y árboles. El modelo que se ha creado consigue reproducir los



procesos reales mediante los cuales los contaminantes se mueven, se dispersan y se depositan en la ciudad.

La vegetación juega un papel muy importante en estos procesos. Tal como explica la investigadora del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) Rocío Alonso, "lo mismo que los seres humanos inhalamos oxígeno y exhalamos CO₂ a través de la nariz, las plantas tienen pequeños orificios en las hojas a través de los que intercambian gases. Pero a diferencia de nosotros, las plantas absorben CO₂ y al mismo tiempo pueden absorber algunos de los contaminantes que hay en el aire". Así que las plantas pueden ayudar a reducir la contaminación. Sin embargo, no todas lo hacen con la misma eficacia: depende de la especie vegetal de que se trate, ya que algunas pueden devolver al aire más partículas de las que absorben. Y sobre todo depende de dónde se sitúen. Por ejemplo, colocar un

LA CONTAMINACIÓN MINUTO A MINUTO

El proyecto Life+Respira contaba con 50 detectores que los voluntarios podían reservar y tomar prestados por medio de una aplicación informática, más unos cuantos detectores en posiciones fijas como referencia que funcionaban continuamente. Los detectores móviles acumularon 15 000 horas de registro de datos y los fijos 60 000 horas.

El producto del análisis de estos datos son mapas del estado de los contaminantes en cada momento y en toda la ciudad. Los mapas se elaboraron a partir de los datos de los sensores y de una simulación por computadora que calcula la distribución y circulación de los contaminantes en la ciudad. Esta simulación incluye los efectos de los edificios y de los árboles, e incluso toma en cuenta la densidad del follaje de los árboles, que cambia con las estaciones. Los resultados de la simulación coincidieron bien con los datos de los sensores.

Algunos resultados del proyecto no sorprenderán a nadie —como que en los parques hay menos contaminantes que en las calzadas, o que en semáforos, rotondas y cruces hay concentraciones mayores que en las vías rápidas—. Pero otros son más inesperados; por ejemplo, que los árboles en las calles pueden tener un efecto nocivo: evitar la dispersión de los contaminantes, por lo que hay que pensárselo bien antes de arbolar las calles.

—La Redacción



Foto: Life+Respira



Cd. de México.

seto entre los coches y el carril para bicis reduce alrededor de un 30 % la contaminación que respiran los ciclistas.

Buenos resultados

A pesar de las dificultades que fueron apareciendo, los investigadores lograron alcanzar los objetivos planteados. El hecho de contar con ese gran volumen de datos fue esencial, como recuerda Jesús Miguel Santamaría: “Trabajar con gran resolución es muy importante, ya que en las áreas urbanas se dan muchas situaciones diferentes y la calidad del aire varía en función de la estación del año, la hora del día y las características de la calle. Por tanto, una medición a gran escala proporciona los datos necesarios. En nuestro proyecto, hemos trabajado con una resolución que permite estudiar la contaminación en cuadros de cinco metros cuadrados, lo cual no se había conseguido hasta la fecha”.

Una de las acciones del proyecto consistió en probar la efectividad de un pavimento especial que absorbe la contaminación gracias a una reacción química provocada por la luz, mediante la cual algunos gases se transforman en sustancias menos contaminantes. Pues bien, las mediciones realizadas indican que, al nivel del suelo, este tipo de pavimento llega a reducir la contaminación hasta un 40 %.

Finalmente, el proyecto ha permitido responder a la pregunta que originó el estudio: ¿respiran más contaminación los ciclistas cuando circulan junto a los automóviles que cuando lo hacen por el carril para bicis? Las mediciones indican que hay una notable diferencia: cuando se circula por el carril bici, los ciclistas están expuestos a un 30 % menos de contaminación. Por tanto, los investigadores recomiendan a las autoridades que construyan carriles bici.

Al circular por el carril de bicicletas, los ciclistas están expuestos a 30 % menos contaminación.

Una campaña de comunicación y educación

Además de las mediciones de la contaminación, el proyecto Life+Respira incluye una extensa campaña de comunicación y educación, encaminada a hacer conciencia sobre la importancia de mejorar la calidad de aire que respiramos y a fomentar el uso de la bicicleta. Según Maribel Gómez, investigadora de la Universidad de Navarra y responsable del programa educativo, “esta parte del proyecto ha sido muy importante, ya que para mejorar la calidad del aire es necesario fomentar la implicación social, y la mejor forma de hacerlo es mediante la educación, que es la que permite transformar los hábitos para mejorar el medio ambiente”.

La campaña incluyó algunas acciones para dar visibilidad al proyecto dentro de la ciudad. Coincidiendo con el comienzo de las mediciones por parte de los voluntarios, se organizó una marcha ciclista que terminó frente al ayuntamiento de la ciudad, donde los ciclistas construyeron la silueta de una gran bicicleta.

Alrededor de 400 estudiantes de secundaria participaron en el programa educativo. Los jóvenes tuvieron la oportunidad de realizar mediciones de contaminación en el entorno de sus escuelas y posteriormente proponer medidas para mejorar la calidad del aire. En la jornada de clausura de este proyecto le enviaron sus ideas al alcalde de la ciudad.



MÁS INFORMACIÓN



- Informe Layman, "Medidas para reducir la exposición de los ciclistas a los principales contaminantes atmosféricos urbanos": http://liferespira.com/laymans_report_life+respira.pdf
- Fundación Ciencia Ciudadana, Universidad Autónoma de Chile, "Guía para conocer la Ciencia Ciudadana": http://cdn-ua.hostingreactor.com/ua_investiga/wp-content/uploads/2018/01/guia-para-conocer-la-ciencia-ciudadana.pdf
- Molina, Luisa, *La calidad del aire en la megaciudad de México: un enfoque integral*, Fondo de Cultura Económica, Cd. de México, 2005.

Todas estas acciones estuvieron arropadas por una amplia campaña de comunicación. Además de la comunicación habitual que los científicos dirigen a sus propios colegas, en publicaciones científicas y congresos, en esta ocasión también se cuidó especialmente la comunicación dirigida al público en general. El proyecto tuvo una excelente acogida por parte de los medios de comunicación convencionales.

El video fue un formato fundamental en la comunicación realizada a través de las redes sociales, que trataron de crear y mantener activa una comunidad de ciudadanos en torno al proyecto. En total, se produjeron 45 videos, que se difunden a través del canal de You Tube de Life+Respira.

Como colofón, se realizó el documental *En el aire*, que cuenta cómo los investigadores solucionaron los problemas que fueron apareciendo en el proyecto. Este documental se distribuye a través de festivales y foros especializados en medio ambiente.

Reto gigantesco

Mejorar la calidad del aire es un reto de proporciones gigantescas, que este proyecto ha tratado de afrontar. Contar con

esta experiencia y con el modelo predictivo desarrollado permitirá replicar la experiencia en otras ciudades de todo el mundo, algunas de las cuales ya están en negociaciones con los responsables de Life+Respira.

Los resultados científicos del proyecto se irán dando a conocer en los próximos años; los necesarios para que los investigadores puedan procesar y analizar la enorme cantidad de datos recogidos. Pero más allá del avance en el conocimiento de la ciencia sobre la calidad del aire, esta experiencia ha puesto de manifiesto que la contaminación ambiental es un problema grave cuya solución sólo será posible con la colaboración de toda la sociedad. La buena noticia que este proyecto ha desvelado es que son muchos los ciudadanos dispuestos a dedicar tiempo y esfuerzo para mejorar el aire que respiramos.

Buena parte de esos esfuerzos han de ir encaminados a fomentar el uso de la bicicleta en nuestras ciudades. Tal como recuerda Arturo Ariño, "en la ciudad, la bicicleta es un medio ideal, ya que no consume combustible y reduce la contaminación y el ruido. Cuantas más bicicletas circulen, tendremos más tranquilidad y, en definitiva, mejor calidad de vida." ●

GUÍA DEL MAESTRO

Descarga la guía didáctica para abordar el tema de este artículo en el salón de clases.
www.comoves.unam.mx



Bienvenido León Anguiano es profesor de periodismo científico en la Universidad de Navarra. Ha dirigido varias investigaciones sobre comunicación de la ciencia, y ha publicado capítulos, artículos y libros como autor, co-autor o editor. El más reciente es *Communicating Science and Technology Through Online Video* (Routledge, 2018).

Océanos corrosivos

Aprendizaje (s)

6. Comprende el potencial de los seres humanos para modificar su ambiente al obtener y caracterizar óxidos metálicos y no metálicos mediante su reacción con agua y la identificación del carácter ácido o básico de los productos. (N₃)

7. Utiliza la simbología química para escribir ecuaciones que representen la transformación de sustancias, y la nomenclatura Stock para nombrar y escribir fórmulas de óxidos e hidróxidos, y la tradicional para oxiácidos. (N₃)

Ficha bibliográfica del texto o material

Murray, G. y Donnet, B. (2018) “Océanos corrosivos”, *¿Cómo ves?* No.230, pp. 24-27.

Sinopsis

Científicos de distintas partes del mundo buscan arduamente soluciones al problema de la acidificación de los océanos,

si no para remediarlo del todo, al menos para que no sea catastrófico, como la última vez que sucedió en el planeta.

De cada gramo de dióxido de carbono que se emite a la atmósfera, 25% queda atrapado en los mares, transformándose en ácido carbónico y cambiando el equilibrio químico del océano. Esta acidificación no permite la formación de carbonato de calcio, componente esencial de los corales.

Los autores explican como un aumento de 195 a 550 ppm de CO_2 en la atmósfera dio como consecuencia la reducción del pH del agua de mar entre 0.25 y 0.45 unidades, lo que ocasionó que muchas especies murieran rápidamente.

Justificación

El artículo apoya a los aprendizajes 6 y 14, de la Unidad 2. Oxígeno, sustancia activa del aire, del Programa de estudios de Química I.

El texto nos brinda el contexto para que el alumno comprenda el potencial de los seres humanos para modificar su ambiente al obtener y caracterizar óxidos no metálicos mediante su reacción con agua y la identificación del carácter ácido o básico de los productos. Al mismo tiempo, nos da el contexto para utilizar la simbología química para escribir ecuaciones que representen la transformación de sustancias, y la nomenclatura para nombrar y escribir fórmulas de óxidos y oxiácidos.

Además, el estudiante tiene la oportunidad de comunicar adecuadamente por escrito y de forma oral sus conocimientos sobre los temas estudiados, al explicar cómo sus acciones

cotidianas pueden repercutir en la modificación del ambiente y asume su responsabilidad en la conservación del mismo.

Momento de uso: Desarrollo.

Forma de trabajo: En equipo.

Instrucciones:

Solicite la lectura por turnos del artículo, de forma que la mayoría del grupo participe de la lectura. Mientras se desarrolla esta, pídale a aquellos que no están leyendo que recaben la siguiente información a partir del mismo:

Cambios en el pH,
Efectos en la flora y la fauna,
Ecuación para la representación de la absorción de CO_2 en el agua.

Con el fin de aclarar las posibles confusiones sobre el concepto de pH, y mejorar sus habilidades de solución de problemas, propóngales las siguientes actividades en equipo:

1. En el artículo de la referencia se habla de la disminución de 8.25 a 8.14 el pH del océano. En escala aritmética parece que la disminución es poca (0.11); sin embargo, recordemos que el pH no es una escala aritmética sino logarítmica. Lo más probable es que aún no entendamos bien lo que ello significa, para ayudar a entender revisa

el siguiente video y comenta lo que entendiste del video:

Logaritmos | Introducción conceptos básicos (8 min)

<https://youtu.be/pZTuEHrnOMg>

2. Revisa el siguiente video:

Concentración de iones hidrógeno. Escala de pH (2 min)

<https://youtu.be/xOOXRzEjp78>

Al final del video hacen la comparación de la concentración de iones H^+ , con el pH que representa esa concentración. Los datos se encuentran en la siguiente tabla

pH	Concentración de iones H^+
2.0	$7.9 \times 10^{-3} M$
2.1	$1 \times 10^{-2} M$

- En la tabla se observa que el cambio de pH es de 0.1, ¿cuál es el cambio de iones H^+ ?
- ¿En qué porcentaje se incrementó el pH 2.1?
- Si consideramos al pH 2 como el 100%, ¿en qué porcentaje se incrementó el pH 2.1?
- Si consideramos a la concentración $7.9 \times 10^{-3} M$ y la comparamos con la de $1 \times 10^{-2} M$ ¿aumentó o disminuyó la concentración? Explica por qué.

- e) Si consideramos a la concentración $7.9 \times 10^{-3} \text{ M}$ como el 100% ¿en qué porcentaje cambio la de $1 \times 10^{-2} \text{ M}$?
- f) Concluyendo, la relación que se presenta entre el pH y la concentración de iones H^+ , ¿es directa o indirectamente proporcional?
3. Observa el siguiente video y calcula la concentración de iones H^+ para un pH de 8.25 y de 8.14

Ej. Aplicación de logaritmo-pH (3 min)

<https://youtu.be/ZxovketLhpw>

4. En el artículo se menciona que algunos investigadores han demostrado que una reducción de 0.2 en el pH del océano, llevaría a la muerte a distintas especies de estrellas de mar. Explica cómo sería posible este suceso y que puedes hacer para impedirlo.

OCÉANOS CORROSIVOS

Por Guillermo Murray Tortarolo y Beatriz Donnet

Científicos de distintas partes del mundo buscan arduamente soluciones al problema de la acidificación de los océanos, si no para remediarlo del todo al menos para que no sea tan catastrófico como la última vez que sucedió en el planeta.

No hay nada más reconfortante que reposar en una hamaca frente al mar, disfrutar de la brisa y ver agua hasta donde la vista alcance. Los océanos son más grandes de lo que podemos imaginar, albergan una enorme diversidad biológica y en ellos se produce la mitad de todo el oxígeno de la Tierra. Depende de ellos la regulación térmica del planeta y proporcionan casi el 20 % de las proteínas que consumimos. No obstante estamos poniendo en riesgo su capacidad de darnos todos estos servicios. Hemos pescado en exceso, destruido los arrecifes de coral y ensuciado las aguas con nuestros drenajes. Hasta hemos modificado la circulación de las corrientes marinas pues el derretimiento de los hielos polares causado por el calentamiento es conse-

cuencia de nuestra quema indiscriminada de combustibles fósiles.

¿Quién no ha visto fotos de playas donde flota la basura mientras los peces quedan atrapados en arillos de plástico de envases desechables o donde las aves marinas se ven desplazadas por hoteles y turistas? Esta contaminación es muy grave pero la mayoría de sus efectos se reducen a las costas y por fortuna influyen poco en la enorme masa oceánica. Más aún, los esfuerzos internacionales de conservación y limpieza de zonas costeras han tenido resultados positivos en casi todo el mundo y el problema está disminuyendo. Sin embargo, los seres humanos acidificamos las aguas superficiales del mar con nuestras actividades cotidianas y este fenómeno pasa

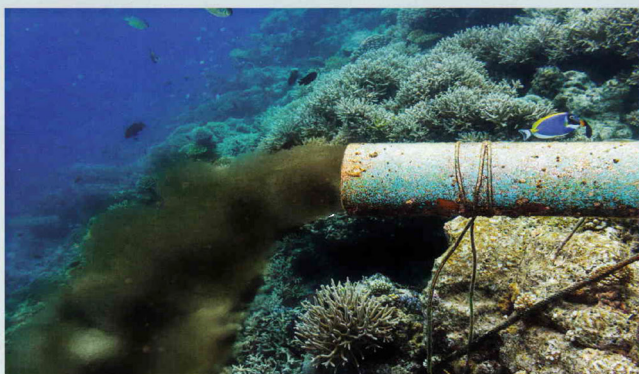


casi inadvertido. Esta acidificación tiene una larga cadena de repercusiones biológicas, ecológicas y sociales.

Equilibrio químico alterado

Desde hace algunos siglos no hemos parado de emitir cantidades cada vez mayores de dióxido de carbono con nuestras actividades. Los coches, la industria y el sistema de producción de alimentos se basan en el consumo masivo de combustibles fósiles. De todo el dióxido de carbono que emitimos (cerca de 9000 millones de toneladas por año), sólo la mitad queda suspendido en la atmósfera, y las plantas y el océano recapturan la otra mitad. En los ecosistemas terrestres la vegetación lo captura mediante la fotosíntesis y lo convierte en tallos, hojas, raíces, flores y frutos, que cada año evitan un calentamiento más acelerado. Pero en los océanos la captura no es biológica sino física. Cuando aumenta la concentración del dióxido de carbono del aire que flota sobre el mar, éste se disuelve en una mayor proporción en el agua según la llamada ley de Henry. La tasa a la que se da esta disolución es constante: por cada gramo de dióxido de carbono que se emite a la atmósfera, una cuarta parte se disuelve y queda atrapada en los mares.

El problema radica en que una vez que la molécula de dióxido de carbono entra en el agua, cambia el equilibrio químico marino. El océano es ligeramente alcalino (con un pH de ocho o similar al de una clara de huevo) por los distintos minerales que acarrea desde el continente y así se ha mantenido por millones de años. Esto le confiere propiedades muy particulares, entre las cuales está la formación de carbonatos de calcio, componentes esenciales de las conchas de muchos microorganismos marinos y de los corales. Cuando el dióxido de carbono se diluye tiende a



Los océanos proveen cerca del 20 % de toda la proteína que consumimos los seres humanos, sin embargo ensuciamos las aguas con los desechos de nuestros drenajes.

destruir los carbonatos y da paso a la formación de ácido carbónico, disminuyendo el pH oceánico y acidificando las aguas. En los últimos 150 años el pH del mar pasó de 8.25 a 8.14. Esta cifra puede parecer irrelevante, pero como las unidades de pH se dan en una escala logarítmica, en realidad implica un aumento de 35 % en la acidez del mar superficial.

Conchas en peligro

Aunque esa acidez del océano no implica que éste se vaya a volver como jugo de limón o vinagre, tiene serias repercusiones para los organismos que lo habitan, en particular para los que forman conchas a base de calcio. Cuando el océano se acidifica no sólo impide que se formen las conchas, sino que empieza a disolver las que ya estaban construidas. Y esto ocurre porque el proceso de formación de conchas a base de calcio, conocido como calcificación, depende de que el agua marina esté saturada de carbonatos que se

transforman en ácido carbónico cuando hay demasiado dióxido de carbono en la atmósfera.

Como todas las especies marinas actuales evolucionaron en un ambiente alcalino, un cambio en el pH puede resultar fatal para muchas de ellas. Por ejemplo, Marah Hardt y Carl Safina del Blue Ocean Institute, demostraron que con una reducción de 0.2 en el pH distintas especies de estrellas de mar se morían. Sus resultados, publicados en la revista *Scientific American* en 2010, evidenciaron que en algunas especies hasta el 99.9 % de los individuos moría en una semana.

Los organismos calcificadores, como los corales, moluscos o crustáceos, son fundamentales para el funcionamiento de los ecosistemas marinos pues están en toda la cadena alimenticia del océano, que va de autótrofos y heterótrofos a descomponedores (que degradan la materia orgánica muerta y los desechos). Los arrecifes de coral son la base de la

Fotos: Shutterstock





La ligera alcalinidad del agua de mar permite la formación de carbonatos de calcio, componentes esenciales de los corales. Cuando el dióxido de carbono se disuelve en el agua puede destruir los carbonatos y dar paso a la acidificación.

cadena alimenticia de muchísimos peces y también sirven como guarderías para los peces más pequeños. Y se estima que son hogar de entre uno y ocho millones de especies aún desconocidas. Para nosotros los corales son muy importantes porque a partir de ellos se han desarrollado muchas medicinas, entre otros, distintos tipos de antibióticos y antivirales. Son además de una gran belleza. Se estima que el valor económico, por los distintos servicios que generan, de los arrecifes de coral de Florida es de 7 100 millones de dólares.

Mirar al pasado para predecir el futuro

Si bien aún desconocemos toda la cadena de impactos que la acidificación oceánica puede ocasionar, existen registros paleoclimáticos de otras épocas en que sucedió algo similar. Es como si el planeta nos mostrara evidencias de lo que podría ocurrir si seguimos

por este rumbo. Una seria acidificación del océano ocurrió entre los periodos Plioceno y Eoceno, hace 56 millones de años. Según Bärben Hönish y colaboradores de la Universidad de Bristol en un artículo publicado en la revista *Science* en 2012, durante ese periodo hubo un aumento considerable en el dióxido de carbono atmosférico (pasó de 195 a 550 partes por millón en la atmósfera, un poco

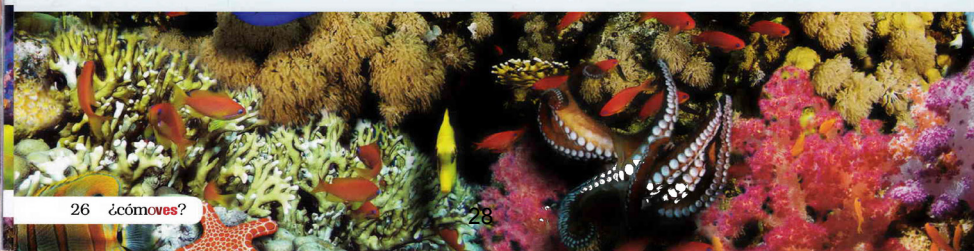
más de las 400 que hay actualmente) y las temperaturas planetarias llegaron al valor más alto registrado en los últimos 300 millones de años (alrededor de 5°C más que hoy). Como consecuencia el pH del agua se redujo entre 0.25 y 0.45 unidades y los organismos murieron rápidamente. El registro fósil de esa época muestra la extinción más extensa registrada en el fondo marino. Como consecuencia se alteró la diversidad biológica del plancton y con ello la de la mesofauna (peces, mamíferos, etc.). En ese periodo los arrecifes de coral sufrieron su peor crisis en los últimos 300 millones de años. Hay otros ejemplos en la historia de nuestro planeta, pero éste es posiblemente el más importante y el que mejor puede mostrarnos qué puede suceder en el futuro.

Predecir los impactos futuros de la acidificación oceánica es algo complejo. Esto se debe a que los experimentos de laboratorio y las observaciones de campo

se limitan normalmente a unas cuantas especies o a una sola región. Sin embargo, la recolección de datos globales de distintas fuentes (por ejemplo, obtenidos en expediciones marítimas, con satélites o con modelos matemáticos) y los ejemplos de lo que ha ocurrido en el registro paleoclimático dan una muy buena idea de lo que podría pasar en los próximos 100 años si seguimos quemando combustibles fósiles.

Según pronósticos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (el famoso IPCC), si las emisiones de dióxido de carbono se reducen considerablemente, la temperatura se estabilizaría en 2°C por encima del promedio actual y el pH oceánico se reduciría a 8.10 (o 0.04 unidades menos). Pero si no se logra esa reducción, en el peor de los casos la temperatura llegaría a 6°C por encima del promedio actual y el pH del océano bajaría a 7.5 unidades, algo nunca visto en la historia del planeta en los últimos 500 millones de años. Y no sólo se trata de la drástica disminución del pH, sino también de la velocidad del proceso. La acidez oceánica aumentaría 0.1% cada año, un ritmo 100 veces mayor a lo observado en cualquier otro momento de la historia del planeta.

En su último reporte el IPCC ha dejado claro que si las políticas globales no restringen lo suficiente las emisiones (véase *¿Cómo ves?* No. 173), es poco probable que los corales del mundo sobrevivan. Y si se alcanzan los peores escenarios la pérdida económica será multimillonaria, no sólo para el turismo sino en todo lo relacionado con las fuentes de alimentación y la regulación del clima. Científicos de distintas partes del mundo están trabajando arduamente en buscar soluciones a este problema, si no para remediarlo del todo, al menos que no sea tan catastrófico como la última vez que sucedió en el planeta.



Alivio temporal

Como la acidificación de los océanos es un problema global, la única forma de resolverlo es a nivel planetario. Las alternativas que presentaremos a continuación sólo tienen una utilidad a escala local o regional, pero son un alivio temporal en lo que se hallan mejores soluciones.

La primera alternativa es crear arrecifes artificiales. Esta práctica ha sido muy utilizada últimamente y consiste en depositar en el lecho marino estructuras sólidas y resistentes a la oxidación que puedan ser colonizadas por algas y moluscos, y además funcionan como guarderías marinas. Para esto se ha hecho de todo, desde hundir barcos viejos hasta, utilizar restos de construcción, como ladrillos y llantas. La historia nos cuenta que la construcción de arrecifes artificiales no es nada novedoso. Hay registros de que los persas utilizaban este método para proteger sus ciudades de las invasiones piratas (los barcos chocaban con

los arrecifes falsos y se hundían) y los japoneses desde el siglo XVII para aumentar los rendimientos de la pesca. En la actualidad hay toda clase de proyectos (legales e ilegales) en que se han hundido vagones de metro, tanques, refrigeradores y hasta aviones para generar arrecifes artificiales.

Un segundo método es la creación de biorroca usando corrientes eléctricas de bajo voltaje en los arrecifes de coral o rocas marinas. Cuando pasa una corriente eléctrica por una superficie, se genera en ella una precipitación de carbonatos en forma de cristal a cuya superficie los corales pueden aferrarse y usar los carbonatos para formar sus conchas. El voltaje necesario es tan bajo que se puede lograr con celdas solares flotantes. Este método es muy efectivo pero bastante costoso. No obstante, crear biorroca es posiblemente la mejor solución de largo plazo a escala regional.

La última alternativa es cultivar y seleccionar organismos resistentes a la acidez, ya sea por manipulación genética o con tecnología transgénica. Si bien ésta es quizá la más complicada y controversial de las soluciones, sigue siendo una opción viable y hasta necesaria para evitar

MÁS INFORMACIÓN

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, "Acidificación de los océanos: ¿qué es y cómo detenerla?": www.undp.org
- Universidad de Stanford, "Acidificación del océano": https://i2sea.stanford.edu/AcidOcean/AcidOcean_Es.htm

la extinción de miles de especies marinas.

Independientemente de lo que se pueda hacer, está claro que se necesitarán ideas ingeniosas y mucha motivación para detener este fenómeno y proteger a las especies marinas. La pérdida de los arrecifes de coral y de los organismos calcificadores tendrá un costo económico y social mucho más grande que el del esfuerzo necesario para detener el cambio climático.

Por eso, la próxima vez que disfrutes de la playa, recuerda que la solución está en nuestras manos: las tuyas y de todos los habitantes de este hermoso planeta. 🐠

Guillermo Murray Tortarolo es investigador Cátedra Conacyt en el Instituto de Investigaciones en Ecosistemas (IIES) de la UNAM; su principal tema de interés es el manejo sustentable de ecosistemas a nivel nacional y global.

Beatriz Tortarolo Donnet es escritora y promotora de la lectura para niños y jóvenes. Es autora de más de 20 libros publicados en México y Latinoamérica. Actualmente ha descubierto una nueva pasión: la herbolaria mexicana.

De cada gramo de dióxido de carbono que se emite a la atmósfera 25% se disuelve y queda atrapado en los mares; cuando esta molécula entra al agua, se transforma en ácido carbónico, y cambia el equilibrio químico del océano.



Aire limpio, ¿un milagro?

Aprendizaje (s)

6. Comprende el potencial de los seres humanos para modificar su ambiente al obtener y caracterizar óxidos metálicos y no metálicos mediante su reacción con agua y la identificación del carácter ácido o básico de los productos. (N₃)

14. Comunica adecuadamente por escrito y de forma oral sus conocimientos sobre los temas estudiados, al explicar cómo sus acciones cotidianas pueden repercutir en la modificación del ambiente y asume su responsabilidad en la conservación del mismo. (N₃)

Ficha bibliográfica del texto o material

Uruchurtu, G. (2006) “Aire limpio, ¿un MILAGRO?”, *¿Cómo ves?* No. 91, pp. 10-14.

Sinopsis

El texto trata de un proyecto ciudadano, realizado en la Universidad de Navarra, y financiado por el programa

Life+Respira de la Unión Europea. El proyecto contaba con 50 detectores que los voluntarios podían reservar y tomar prestados por medio de una aplicación informática, más unos cuantos detectores en posiciones fijas como referencia que el texto describe un proyecto internacional, en el que participan más de 450 científicos y técnicos, que tiene como propósito construir un camino para disminuir la contaminación atmosférica en las megaciudades. El proyecto tiene como título MILAGRO, por sus siglas en inglés, “Iniciativa para Megaciudades: Observación de Investigación Local y Global”; está integrado por cuatro grandes proyectos que tienen que ver con la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, con un experimento de aerosol en una megaciudad, con los impactos de una megaciudad en ambientes regionales y globales, así como con experimentos de transporte químicos intercontinental.

Justificación

El artículo apoya a los aprendizajes 6 y 14, de la Unidad 2. Oxígeno, sustancia activa del aire, del Programa de estudios de Química I. El contenido del texto permitirá a los alumnos comprender el potencial de los seres humanos para modificar su ambiente al obtener y caracterizar los óxidos no metálicos mediante su reacción con agua y la identificación del carácter ácido o básico de los productos. También logrará comunicar adecuadamente por escrito y de forma oral sus conocimientos sobre los temas estudiados, al ex-

plicar cómo sus acciones cotidianas pueden repercutir en la modificación del ambiente y asumir su responsabilidad en la conservación del mismo.

Momento de uso: Cierre de Unidad.

Forma de trabajo: Colaborativo / en parejas.

Instrucciones:

Sugerencia de actividad de aprendizaje:

El **vocabulario** es el conjunto de palabras que forman parte de un idioma o lenguaje específico, conocidas por una persona u otra entidad (como un diccionario).

El vocabulario de una persona puede ser definido como el conjunto de palabras que son comprendidas por esa persona, o como el conjunto de palabras probablemente utilizadas por ésta.

El incremento del propio vocabulario es una parte importante tanto en el aprendizaje de idiomas, como en la mejora de las propias habilidades en el primer idioma.

La adquisición del vocabulario (tanto en el primer idioma como en los segundos y/o extranjeros) es un proceso muy complejo. La primera distinción que debemos hacer es entre **vocabulario pasivo** y **vocabulario activo**. El primero es el vocabulario que el sujeto entiende sin ayuda o con muy poca ayuda, pero que no es capaz de utilizar autónomamen-

te. El segundo es el vocabulario que el sujeto comprende sin problemas, pero que, además, es capaz de utilizar cuando lo necesita y sin necesidad de ayuda. Parece claro, por tanto, que el vocabulario más amplio de una persona es el vocabulario pasivo, y parece claro también, que, si una persona no tiene una palabra “almacenada” en su vocabulario pasivo, difícilmente esa palabra podrá llegar a formar parte de su vocabulario activo.

Solicite a los alumnos que resuelvan el instrumento de relación de columnas (al final de esta guía) antes de leer el texto, ayúdelos a identificar que palabras no forman parte de su vocabulario.

Una vez que los alumnos hayan identificado que términos desconocen, propóngales elaborar un glosario de forma colaborativa, asignando a cada estudiante al menos cinco palabras para que investiguen su significado. Posteriormente, conjunte las definiciones consultadas para que todos tengan un glosario. Asigne el texto para su lectura en parejas, y solicite que cada pareja elabore un texto donde expliquen cómo nuestras acciones cotidianas pueden repercutir en la modificación del ambiente y cómo podemos contribuir para la conservación de éste. El texto debe contener mínimo 20 renglones, y cada pareja debe incluir al menos 10 palabras de las investigadas en el glosario.

Relaciona las siguientes columnas.

1		Es un instrumento para detectar y medir la intensidad de energía térmica radiante, en especial de rayos infrarrojos.	A. Biomasa
2		Son expertos meteorológicos y climáticos que estudian la atmósfera de la Tierra y la forma en que esta afecta a los sistemas de la Tierra.	B. Calado
3		Se refiere al hecho de vigilar algo, también tiene otro sentido, en el caso de una entidad se ocupa de estudiar y analizar una situación que tiene un interés social.	C. Emanaciones
4		Evento que ocurre o se realiza entre dos o más continentes.	D. Envergadura
5		Desde el punto de vista químico y de la termodinámica es una medida de la tendencia de una sustancia a pasar a la fase de vapor.	E. Enzimas
6		Es la unidad de materia orgánica que se utiliza como fuente de energía. Esta materia puede ser proveniente de animales o de plantas, incluyendo residuos orgánicos.	F. Fagocitos
7		Desprendimiento o emisión de sustancias volátiles de un cuerpo.	G. Fotoquímica
8		Es una subdisciplina de la química, es el estudio de las interacciones entre átomos, moléculas pequeñas, y la luz.	H. Hidrocarburos
9		Son moléculas orgánicas que actúan como catalizadores de reacciones químicas, es decir, aceleran la velocidad de reacción.	I. Intercontinental
10		Término que se emplea para nombrar a la tarea que se desarrolla en un tejido o tela con una aguja, haciendo que los hilos se junten.	J. Logística
11		Este término puede referirse a diferentes clases de instrumentos y herramientas. Estos dispositivos se vinculan al verbo sondear: realizar una investigación o un rastreo de algo.	K. Luminosidad
12		Distancia que se registra entre los extremos de las dos alas de un avión.	L. Megalópolis
13		Son compuestos orgánicos conformados únicamente por átomos de carbono e hidrógeno.	M. Meteorólogos

14		Son células presentes en la sangre y otros tejidos animales capaces de captar microorganismos y restos celulares e introducirlos en su interior con el fin de eliminarlos.	N. Metropolitana
15		Es la cantidad de luz emitida o reflejada por un objeto.	O. Microondas
16		Este término se utiliza para designar a áreas urbanas de gran tamaño y con cantidades poblacionales muy importantes.	P. Monitoreo
17		Son ondas electromagnéticas; generalmente entre 300 MHz y 30 GHz, que supone un período de oscilación de $3 \times 10^{-9} \text{ s}$ a $33 \times 10^{-12} \text{ s}$ y una longitud de onda en el rango de 1 m a 10 mm.	Q. Radiación
18		Es la emisión, propagación y transferencia de energía en cualquier medio en forma de ondas electromagnéticas o partículas.	R. Radiómetro
19		Es el conjunto de los medios y métodos que permiten llevar a cabo la organización de una empresa o de un servicio.	S. Sondas
20		Es una región urbana que engloba una ciudad central (la metrópolis) que da nombre al área y una serie de ciudades que pueden funcionar como ciudades dormitorio, industriales, comerciales y servicios.	T. Volatilidad

Aire limpio, ¿un MILAGRO?

Gertrudis Uruchurtu



Foto: Sasha Madronich

La Ciudad de México el 18 de marzo, 2006.

10 ¿cómo ves?



Un proyecto internacional único en el mundo, en el que participan 450 científicos y técnicos, abre el camino para disminuir la contaminación atmosférica en las megaciudades.

CADA DÍA, durante un mes, y aprovechando el tráfico de las siete de la mañana, Tim Onasch y Scott Herndon, de la empresa Aerodyne (ARI), y Miguel Zavala del Instituto Tecnológico de Massachusetts, así como otros investigadores, se subían a un vehículo blanco parecido a un camión repartidor. La diferencia es que éste llevaba el más completo y sofisticado equipo para medir los gases, polvos y aerosoles que salen por los escapes de los coches. En ese camión se aventuraban a todos los sitios que los habitantes de la Ciudad de México tratan de evitar: las avenidas de tráfico más intenso, los embotellamientos más densos. Por medio de unos tubos especiales absorbían las emisiones de los vehículos vecinos, las cuales pasaban inmediatamente a los analizadores.

El trabajo de Onasch y su grupo formó parte de la campaña MILAGRO, siglas en inglés de Iniciativa para Megaciudades: Observaciones de Investigación Local y Global, que se llevó a cabo a lo largo del

pasado mes de marzo. El objetivo de la campaña era recopilar la mayor cantidad de información posible acerca de los contaminantes que ensucian el aire que respiran los pobladores de la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM), que incluye municipios del estado de México y del estado de Hidalgo. La red de aparatos de monitoreo de contaminantes atmosféricos estuvo distribuida en globos y sondas ancladas y libres, seis aviones y tres satélites especializados, y funcionó sin descanso las 24 horas del día. Los detectores de superficie estuvieron estratégicamente repartidos en una extensión que abarca desde el Valle de México hasta Veracruz. Los principales se colocaron en el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), ubicado al norte de la Ciudad de México, la Universidad Tecnológica de Tecámac en el estado de México y el Rancho La Biznaga, también en ese estado.

Con los datos recopilados en marzo, los científicos de MILAGRO pretenden determinar la composición de los contami-

nantes atmosféricos, localizar sus fuentes principales y trazar su trayectoria. De esta manera se podrán conocer sus efectos tanto locales como globales, ya que los contaminantes pueden ser transportados a miles de kilómetros de distancia. Otro aspecto que han estudiado es la transformación química y física de los contaminantes una vez que se encuentran en el aire, al reaccionar ya sea con elementos de la atmósfera o con otros contaminantes. MILAGRO es la primera campaña de esta envergadura en el mundo. Una vez integrados todos los resultados, éstos serán la base para el diseño de políticas gubernamentales encaminadas a mejorar la calidad del aire de la zona metropolitana de la Ciudad de México.

En el proyecto participan 450 científicos y técnicos con especialización en ciencias de la atmósfera, de muy diversas instituciones y nacionalidades. El proyecto está patrocinado por México, a través de la Comisión Ambiental Metropolitana, el Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría

del Medio Ambiente y Recursos Naturales, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y PEMEX, y por los Estados Unidos, por medio de la Fundación Nacional para la Ciencia (NSF), el Departamento de Energía (DOE) y la NASA. Los equipos científicos fueron aportados por diferentes universidades y centros de investigación.

La campaña MILAGRO ha sido coordinada, desde su planeación, que tomó tres años, por la Dra. Luisa Tan Molina, del Centro Molina para la Energía y el Medio Ambiente y del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Los directores científicos de la campaña fueron la propia Dra. Molina, el Dr. Jeff Gaffney del Laboratorio Nacional Argonne y el Dr. Sasha Madronich del Centro Nacional para la Investigación Atmosférica (NCAR).

Mezcla de gases

Las actividades diarias de MILAGRO empezaban en el centro de operaciones, ubicado en Veracruz y en los "supersitios" en la ZMVM, donde se discutía la logística del día y los problemas que se habían presentado el día anterior, así como las metas alcanzadas. Los meteorólogos exponían su



Instrumentos dentro del avión NCAR/NSF C-130.

pronóstico del tiempo basándose en modelos computacionales que tomaban en cuenta la altitud, la velocidad y dirección del aire y la concentración de contaminantes. Estos datos serían de suma importancia para todos los equipos de trabajo, tanto para los laboratorios en tierra como para los aéreos.

En su camión blanco, el grupo de Onasch registraba emisiones contaminantes como las de bióxido de carbono (CO_2), que es el principal indicador del aumento del tráfico y se desprende siempre que se quema algún compuesto orgánico. Otros contaminantes son el monóxido de carbono (CO), que resulta de una combustión incompleta de la gasolina, y restos de combustible sin quemar. Además, los combustibles fósiles siempre están acompañados por impurezas de compuestos orgánicos que contienen azufre (S) y nitrógeno (N). Al quemarse el combustible en presencia del oxígeno del aire, estos dos elementos

forman bióxido de nitrógeno (NO_2) y bióxido de azufre (SO_2). Todos estos gases son contaminantes "primarios", que son tóxicos e irritantes. Pero el problema de contaminación más grande ocurre cuando el NO_2 reacciona con la gasolina que no se quemó y forma ozono (O_3). Para que esta reacción se lleve a cabo se requiere energía luminosa. Por lo tanto, a medida que aumenta la luminosidad del día, más se concentra en la atmósfera el ozono, que es sumamente irritante y oxidante de los tejidos.

A veces el camión permanecía estacionado 24 horas en ciertos sitios estratégicos, como el pico de Tres Padres o las inmediaciones de la refinera de Tula. Durante ese tiempo analizaba el contenido y evolución diaria de la mezcla de gases proveniente de la ciudad. Un día, muy temprano en la mañana, los científicos detectaron niveles muy altos de bióxido de azufre. Como no estaba acompañado de una elevación de CO_2 , no se debía a la combustión de la gasolina. Este gas provenía de una gran fumarola que esa madrugada había lanzado el volcán Popocatepetl.

Científicos de azotea

Por su parte, el equipo de trabajo de Beatriz Cárdenas y Claudia Márquez, del Instituto Nacional de Ecología, llegaba a la tres de la mañana a las instalaciones del Instituto Mexicano del Petróleo. A esas horas calibraban los aparatos que se hacían subir en



Lanzamiento de globo en Tecamac.

Foto: Luisa Tan Molina

Foto: Luisa Tan Molina



Torre Flux vista desde el edificio de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico.

globo a 4000 metros de altura para atrapar y registrar la concentración de hidrocarburos y de ozono a lo largo del día. Globos como éste se lanzan en diferentes sitios de monitoreo tanto fijos como móviles cuatro veces al día y algunas veces en la noche. También se lanzan globos meteorológicos de vuelo libre que permanecen en el aire entre uno y tres días y llegan a 5 500 metros de altura. Otro tipo de globo son las ozonondas y radiosondas, que aportan datos de temperatura, presión y humedad relativa.

El australiano Simon Paech, de la Universidad de Alabama, subía diariamente

Proyecto milagro

MILAGRO son las siglas en inglés de “Iniciativa para Megaciudades: Observaciones de Investigación Local y Global”. Está integrada por cuatro grandes proyectos de investigación de ciencias de la atmósfera:

- MCMA-2006: Zona metropolitana de la Ciudad de México-Experimento 2006 (*Mexico City Metropolitan Area -2006 Experiment*). Mediciones encaminadas a estudiar la calidad del aire en esta zona, los patrones de exposición y los efectos en la salud humana, así como a diseñar y evaluar acciones para reducir los niveles de contaminantes.
- MAX-Mex: Experimento de Aerosol en una megaciudad (*Megacity Aerosol Experiment*). Estudio del comportamiento de las partículas suspendidas en la atmósfera: transporte,

transformación, propiedades químicas y ópticas.

- MIRAGE-Mex: Impactos de una megaciudad en ambientes regionales y globales (*Megacity Impacts on Regional and Global Environments*). Estudio de las transformaciones químicas y físicas de los gases y partículas contaminantes que emanan de una megalópolis, así como sus efectos regionales y globales en la composición de la atmósfera y el clima.
- NTEX-B: Experimento B de transporte químico intercontinental (*Intercontinental Chemical Transport Experiment-B*). Experimento para caracterizar la distribución a largo plazo de la contaminación, la fotoquímica atmosférica mundial y los efectos de los aerosoles y las nubes en el clima.

a la azotea del IMP. Con lentes oscuros y sombrero de lona calado hasta las orejas, trabajaba casi todo el día al rayo del sol revisando el radiómetro y el perfilador de vientos ahí instalados. El radiómetro registraba vapor de agua y temperatura en una columna atmosférica de 10 kilómetros de altura; enviaba hacia arriba un rayo de microondas que se reflejaba y volvía a tierra. Los datos que recogía iban a las computadoras que se encontraban en un cuarto anexo. El perfilador de vientos, que parece una enorme tina de baño, tiene capacidad de revelar las características físicas del movimiento del aire.

Otros científicos “de azotea” recibían datos sobre concentración de sodio y potasio en la atmósfera por medio de un espec-

trómetro de masas. Estos dos elementos son indicadores de incendios, pues se producen de la quema de biomasa (bosques, pastizales y ciertos tipos de basura orgánica).

Dara Salcedo, de la Universidad Autónoma de Morelos, registró diariamente en su computadora los aerosoles que atrapaba por los tubos de entrada colocados en la azotea del edificio del IMP. Un aparato especial separaba los aerosoles según su volatilidad y tamaño antes de enviarlos al espectrómetro, que analizaba su composición. Los aerosoles son partículas sólidas o líquidas suspendidas en la atmósfera que miden menos de 10 micrómetros (milésimas de milímetro). Las que miden más de 10 micrómetros tienden a caer por gravedad. Algunos aerosoles son de origen natural, como el polvo y las partículas que provienen de emanaciones volcánicas y de incendios forestales. Sin embargo, la mayor cantidad de partículas la genera la actividad humana de quemar combustibles fósiles en medios de transporte e industrias. Las partículas suspendidas pueden causar mucho daño. Mientras más pequeña es la partícula, más tiempo flotará en el aire y más fácilmente penetrará en los seres vivos cuando respiran.

Las partículas suspendidas forman contaminantes secundarios cuando reaccionan con otras sustancias presentes en la atmósfera, como los óxidos de nitrógeno y de azufre, productos también de la combustión. Estas partículas son el componente principal de esa niebla amarillenta que flota sobre la Ciudad de México y que los habitantes de la zona metropolitana vemos

Foto: Luisa Tan Molina



Lanzamiento de globo en el Instituto Mexicano del Petróleo.

frecuentemente, Robert Osborne, de la Universidad Texas A&M, hizo un estudio de laboratorio con partículas específicas aisladas para conocer las condiciones en que éstas pueden crecer al unirse a otras sustancias, como óxidos de azufre o vapor de agua.

El impacto en las personas

Saber cómo afectan a las personas los gases y las partículas contaminantes ha sido desde hace muchos años el objetivo de las investigaciones de Álvaro Osornio, del Programa Universitario del Medio Ambiente, y de Horacio Tovallín, de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, ambas instituciones de la UNAM. Ellos participaron en la campaña MILAGRO relacionando los resultados de todos los grupos de investigación con el impacto de los contaminantes en los habitantes de las zonas que se encuentran en la trayectoria de las emanaciones, que pasa por los estados de México y de Hidalgo.

Los grupos registraron la concentración de contaminantes dentro y fuera de las escuelas y las casas de 600 niños y 210 adultos jóvenes. Mediante recolectores especiales se midió la exposición de cada uno de ellos a gases y partículas. También se tomaron muestras de sangre para evaluar cómo reaccionan a los contaminantes los fagocitos del sistema inmunológico y las enzimas antioxidantes.

Debido a que la incidencia de asma en los habitantes de las megaciudades ha aumentado paralelamente a la concentración de contaminantes, también se está realizando un estudio para saber si alguno de los cinco genes implicados en este padecimiento se encuentra afectado en los habitantes de esas zonas.

Laboratorios voladores

De su base en el aeropuerto de Veracruz todos los días despegaban cinco aviones equipados con aparatos especializados. Unos se encargaban de tomar muestras de aire para analizar gases como monóxido y bióxido de carbono y aerosoles. Otros husmeaban incendios forestales o agrícolas, muy frecuentes en esa época del año, para determinar la composición, comportamiento y trayectoria del humo. Uno de los aviones estaba equipado con un radar láser que hizo mediciones muy finas de aerosoles. Otro, el avión J31, portaba instrumentos



Avioneta ultra ligera en el aeropuerto.

Foto: Luisa Tan Molina

que miden el comportamiento de las partículas de aerosol ante la radiación solar. Éste es un dato muy importante, pues algunas partículas absorben la radiación y otras la reflejan. Las partículas de hollín, por ejemplo, absorben la energía radiante, mientras que las moléculas de agua de las nubes la reflejan. Esto afecta el clima del planeta, ya sea enfriando o calentando la Tierra. Finalmente, desde Houston despegaba un avión de la NASA cuya tarea era rastrear a mayor altura y distancia el transporte intercontinental de contaminantes. Tres satélites especializados en monitoreo atmosférico llamados *Aura*, *Terra* y *Aqua* dieron apoyo a los aviones validando los resultados de los experimentos realizados en ellos.

Megaciudad

¿Por qué se eligió la zona metropolitana de la Ciudad de México para la campaña MILAGRO? Su población de más de 20 millones de habitantes hace que sea la tercera más poblada del mundo, sólo superada por Tokio y el área de Nueva York-Filadelfia. Es una zona representativa de las emisiones propias de las ciudades con economías en desarrollo y su gran luminosidad en la época del año en que se realizó la campaña favoreció el estudio de las reacciones fotoquímicas. Otro aspecto importante es que

desde hace 10 años existen datos previos de mediciones de óxidos de nitrógeno, ozono, monóxido de carbono y dióxido de azufre, partículas, reacciones fotoquímicas y aerosoles. La campaña que en 2003 (MCMA-2003) llevó a cabo la Comisión Ambiental Metropolitana ha sido una base importante para MILAGRO.

Los datos obtenidos por todos los equipos fueron enviados a la Universidad de Colorado en Boulder, donde se analizarán para emitir un resultado integrado en 2008. Los estudios de modelación en computadora que mostrarán los resultados en una forma más gráfica probablemente tomen dos años más.

El enorme costo del proyecto MILAGRO, el despliegue de tecnología y el potencial intelectual y físico invertido en éste podría perderse y llegar a ser obsoleto si no se realiza, paralelamente, una campaña educativa para que tomemos conciencia de la vulnerabilidad y fragilidad de nuestra atmósfera y de nuestros organismos ante los contaminantes que arrojamamos al aire. 🔍

Gertrudis Uruchurtu es química farmacobióloga. Durante 30 años fue maestra de química en bachillerato y es egresada del Diplomado de Divulgación de la Ciencia de la DGDC/UNAM.

Cambio climático ¿Qué sigue?

Aprendizaje (s)

3. Reconoce la importancia de la ciencia y el uso de argumentos basados en evidencias para discutir y resolver problemas de importancia económica, social y ambiental, al estudiar el debate en torno del efecto de invernadero y el cambio climático (N₂).

14. Comunica adecuadamente por escrito y de forma oral sus conocimientos sobre los temas estudiados, al explicar cómo sus acciones cotidianas pueden repercutir en la modificación del ambiente y asume su responsabilidad en la conservación del mismo. (N₃)

Ficha bibliográfica del texto o material

Zavala, J. y Romero, R. (2007) “Cambio climático ¿qué sigue?”, ¿Cómo ves? No.109, pp. 10-17.

Sinopsis

La mayoría de los estudios serios indica que el cambio climático que se está observando y el que se prevé para los próximos 100 años se debe principalmente a la actividad humana.

Frecuentemente hablamos de calentamiento global para referirnos a los cambios del clima que se han detectado en las últimas décadas. Pero el clima es resultado de la interacción entre el océano, la atmósfera, la litósfera, la criósfera y la biosfera, alimentados por la energía del Sol, en un complejo sistema del cual aún falta mucho por saber. Los cambios climáticos que se están observando modifican la temperatura promedio de la Tierra, pero también alteran los otros componentes del clima, los cuales son tan o más importantes para nuestra vida cotidiana como los cambios en la temperatura.

Ahora se trata de mitigar los efectos del cambio climático y adaptarnos, y para ello necesitamos nuevas tecnologías y modificar nuestros patrones de consumo.

Justificación

El artículo apoya a los aprendizajes 3 y 14, de la Unidad 2. Oxígeno, sustancia activa del aire, del Programa de estudios de Química I.

El texto nos brinda el contexto para que el alumno reconozca la importancia de la ciencia y el uso de argumentos basados en evidencias para discutir y resolver problemas de importancia económica, social y ambiental, al estudiar el de-

bate en torno del efecto de invernadero y el cambio climático

Además, el estudiante tiene la oportunidad de comunicar adecuadamente por escrito y de forma oral sus conocimientos sobre los temas estudiados, al explicar cómo sus acciones cotidianas pueden repercutir en la modificación del ambiente y asume su responsabilidad en la conservación del mismo.

Sugerencia de actividad de aprendizaje

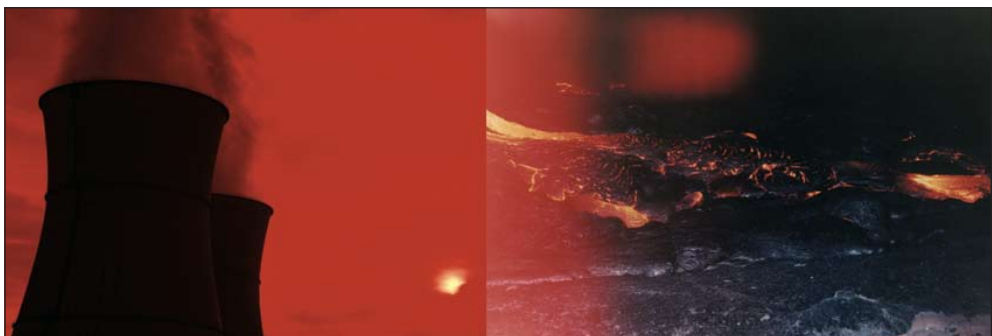
Momento de uso: Desarrollo .

Forma de trabajo: Individual.

Instrucciones:

1. Solicite a los alumnos la lectura del documento, una vez que han terminado, solicíteles que elaboren un cuadro sinóptico en el que extraigan de la lectura la información relevante con respecto al cambio climático, considerando las evidencias, IPCC, predicciones, propuestas de mitigación y la situación de México.
2. Pídales que a partir de la información colectada busquen alguna relación o conexión entre las ideas principales de cada apartado, conectándolas con una línea en el cuadro y explicando en que se basa esa relación.
3. Enfatice que el artículo no es reciente, proponga que profundicen con una búsqueda de información sobre los posibles avances a la fecha.

4. Posteriormente, solicite que en equipo que escriban propuestas de acciones argumentando su justificación, que sean posibles de llevarse a cabo por ellos mismos para ayudar a mitigar el cambio climático.



Cambio





climático ¿qué sigue?

Jorge Zavala Hidalgo y Rosario Romero Centeno

**Un fenómeno que no tiene vuelta atrás.
Ahora se trata de mitigar sus efectos
y adaptarnos, y para ello necesitamos
nuevas tecnologías y modificar
nuestros patrones de consumo.**

A LO LARGO del año 2007 el tema del cambio climático ha acaparado titulares en todo el mundo. En el mes de febrero, una noticia de gran impacto fue la presentación del reporte sobre las bases científicas del cambio climático, que forma parte del Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). El reporte señala que hay evidencias concluyentes de un cambio climático y de que éste es causado por las actividades humanas, principalmente debido al aumento de gases de efecto invernadero por la quema



de combustibles fósiles y la deforestación. El panel calificó esta conclusión de “muy probable”, lo que en términos estadísticos significa que la confianza con que hoy sabemos que las actividades humanas son la causa de este cambio es de 90%. El informe vino acompañado del análisis de los probables escenarios climáticos que podrían presentarse para el año 2100.

En septiembre se llevaron a cabo dos eventos muy importantes. El primero, una reunión histórica en las oficinas principales de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en donde más de 80 jefes de Estado y de gobierno discutieron la

urgencia de combatir el cambio climático, el cual consideraron el mayor reto para la humanidad en el siglo XXI. El segundo, la reunión organizada por el presidente Bush con los representantes de las principales economías mundiales para lanzar su propia iniciativa sobre el cambio climático, al margen de la ONU. La propuesta de Bush es trabajar con los principales usuarios de energía y mayores productores de emisiones de gases de efecto invernadero, incluyendo tanto naciones desarrolladas como en vías de desarrollo, para establecer una nueva pauta internacional sobre seguridad energética y cambio climático en 2008.

Con esta nueva pauta Bush busca orientar en un sentido favorable a los intereses de los Estados Unidos al acuerdo global que, bajo la Convención Marco para el Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCCC, por sus siglas en inglés), se tomará en el año 2009.

En octubre el IPCC volvió a ser noticia mundial cuando se le otorgó el Premio Nobel de la Paz 2007, compartido con el ex vicepresidente de los Estados Unidos Al Gore, por sus esfuerzos para acrecentar y difundir el conocimiento sobre el cambio climático provocado por el ser humano y por establecer las bases de las medidas necesarias para contrarrestar dicho cambio.

EL IPCC

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) fue establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con el objeto de evaluar, sobre una base exhaustiva, objetiva, abierta y transparente, la información científica, técnica y socioeconómica disponible sobre el cambio climático en todo el mundo, incluyendo sus impactos potenciales y las opciones para la adaptación y mitigación. El IPCC es un órgano abierto a todos los países miembros de la OMM y del PNUMA.

El IPCC está formado por tres grupos de trabajo y un equipo especial sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. El Grupo I evalúa los aspectos científicos del sistema climático y del cambio en el clima. El Grupo II examina la vulnerabilidad de los sistemas socioeconómicos y naturales frente al cambio climático, las consecuencias negativas y positivas de dicho cambio y las posibilidades de adaptación. El Grupo III evalúa cómo limitar las emisiones de gases de efecto invernadero y atenuar por otros medios los efectos del cambio climático.

Una actividad principal del IPCC es proporcionar regularmente una evaluación del estado del conoci-

miento sobre el cambio climático. Las evaluaciones del IPCC se apoyan en la labor de cientos de expertos de todo el mundo, algunos de los cuales participan en las tareas de redacción y otros en el proceso de revisión de los informes. Cabe mencionar que 15 científicos mexicanos, de los cuales 10 son de la UNAM, forman parte del Panel: Carlos Gay, Graciela Binimelis, Víctor Magaña, Cecilia Conde, Francisco Estrada, Ana Rosa Moreno, Blanca Jiménez, Claudia Sheinbaum, Omar Maser, Carlos Anaya, Edmundo de Alba, Mario Molina, Patricia Romero, Ricardo Zapata y Jorge Gasca.

Desde 1988 el IPCC ha producido una serie de publicaciones que son ya obras de referencia en la materia y que son utilizadas por un gran número de responsables de políticas, científicos, estudiantes y expertos en temas diversos. Estas publicaciones consisten en informes de evaluación, informes especiales, guías metodológicas y documentos técnicos. Cada informe del IPCC va acompañado de un resumen para responsables de políticas, que se publica en todos los idiomas oficiales de las Naciones Unidas. Los documentos del IPCC se pueden consultar en <http://www.ipcc.ch>.

Las evidencias

El término “clima” se refiere a las condiciones promedio del estado del tiempo en una región particular, calculadas a partir de varios años de datos (por ejemplo, la temperatura promedio en enero en Ciudad Universitaria). Pero este promedio cambia a través del tiempo. El clima ha variado siempre en distintas escalas de tiempo y estas variaciones están sólidamente documentadas. Entre las causas más importantes se encuentran los cambios en la cantidad de energía que la Tierra recibe del Sol (debido a variaciones naturales en la actividad solar) y la manera en que se distribuye esta energía por el planeta. También afectan los movimientos de la Tierra, cuyo eje de rotación cambia de orientación y cuya órbita se vuelve más o menos alargada en escalas de tiempo muy grandes. Sin embargo, la mayoría de los estudios serios indican que el cambio climático que se está observando y el que se prevé para los próximos 100



años se debe principalmente a la actividad humana.

Echemos un vistazo a las principales evidencias que señalan estos estudios y que recoge el reporte del IPCC:

Los datos de largo plazo indican un claro y consistente incremento en las temperaturas, particularmente desde la revolución industrial en los países occidentales. El aumento ha sido mayor en latitudes más altas del norte en los últimos 30 años. El incremento en la temperatura promedio del planeta fue de 0.74°C en el periodo de 1906 a 2005, con una tasa de incremento prome-

dio durante los últimos 50 años (0.13°C por década) de casi el doble de la observada en los últimos 100 años.

Al mismo tiempo, se han observado cambios en la ocurrencia de eventos extremos como las lluvias intensas, sequías y ondas de calor. Desde 1950, la frecuencia de lluvias intensas se ha incrementado en la mayoría de las áreas continentales. Un aumento significativo en la precipitación se ha observado en los últimos 100 años en regiones orientales de América del Norte y del Sur, el norte de Europa y el norte y el centro de Asia. Por otra parte, se ha observado

aridez sobre grandes regiones; por ejemplo el Sahel, el Mediterráneo, el sur de África y partes del sur de Asia. En las grandes cuencas de captación de África, en Níger, Chad y Senegal, la cantidad de agua total disponible ha disminuido entre 40 y 60% en los últimos 50 años, y la desertificación se ha agravado debido a una disminución en el promedio anual de lluvia, especialmente en el sur, norte y occidente de África.

Las temperaturas promedio en el Ártico se incrementaron a casi el doble

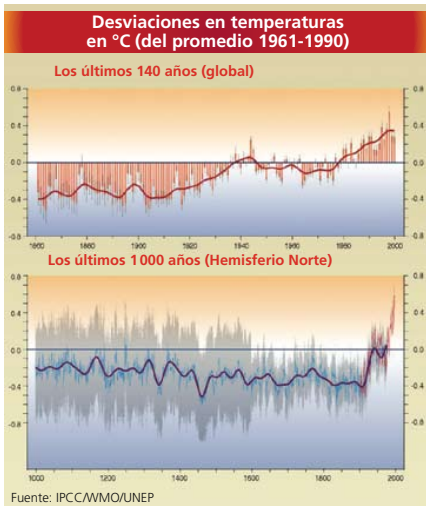
La mayoría de los estudios serios indican que el cambio climático que se está observando y el que se prevé para los próximos 100 años se debe principalmente a la actividad humana.

del ritmo global en los últimos 100 años. Las temperaturas en el tope de la capa de *permafrost* han aumentado desde los años 80 hasta 3°C . En el ártico ruso se han derrumbado edificios debido al derretimiento del *permafrost* bajo sus cimientos.

La cubierta de nieve ha disminuido alrededor de 10% en latitudes medias y altas del Hemisferio Norte desde finales de los años 60. Los glaciares montañosos y la cubierta de nieve han disminuido en ambos hemisferios, lo que ha contribuido a elevar el nivel del mar. El nivel medio global del mar se elevó a un ritmo promedio de alrededor de 1.8 mm por año entre 1961 y 2003, pero entre 1993 y 2003 se elevó 3 mm por año.

Existe evidencia de cambios de largo plazo en la circulación atmosférica de gran escala, como la intensificación y desplazamiento de los vientos del oeste hacia los polos.

El vapor de agua en la troposfera está aumentando y el océano mundial se ha





calentado desde 1955. Este calentamiento se ha extendido sobre los primeros 700 m de profundidad.

También hay amplia evidencia de cambios en la salinidad del océano en los últimos 50 años, con aumentos en la salinidad de las aguas cercanas a la superficie en las regiones con más evaporación. Estos cambios en la salinidad implican cambios en el ciclo hidrológico sobre los océanos.

Datos obtenidos por satélite desde 1993 dan fe de cambios regionales del nivel del mar. En algunas regiones, las tasas de elevación durante este periodo son de varias veces la media mundial, mientras que en otras regiones el nivel del mar está disminuyendo. Las observaciones sugieren incrementos en las elevaciones extremas del agua en gran parte del mundo desde 1975.

No obstante que la gran mayoría de los científicos está de acuerdo en que las variaciones del clima que se han observado en las décadas recientes, se deben principalmente a la actividad humana, hay científicos y organizaciones que no lo están. Ellos se preguntan, por ejemplo, si el incremento de las temperaturas mundiales es real o es producto de mediciones deficientes, o si el calentamiento observado es extraordinario o está dentro de las variaciones climáticas normales. Algunos científicos afirman, por ejemplo, que el calentamiento se debe a cambios en el número y tamaño de las manchas solares y como se espera que el Sol entre en una fase menos activa en las próximas décadas, prevén una disminución de la temperatura. Debemos tener cuidado con estas posturas, pues si bien hay investigadores serios que las apoyan, otros están ligados a intereses económicos; por ejemplo, los de algunas compañías petroleras.

Una mirada al clima

El clima promedio de la Tierra está determinado por la energía que llega del Sol y por las propiedades de la superficie terrestre y de la atmósfera, como la reflexión, absorción y emisión de energía. Los cambios en estas propiedades de la Tierra y su atmósfera alteran el balance global de energía del sistema y pueden provocar cambios en el clima. Por ejemplo, un incremento en las concentraciones de los llamados gases de efecto invernadero aumenta la absorción atmosférica de la energía que emite la superficie terrestre en forma de radiación infrarroja. Una parte de la energía que antes escapaba al espacio se queda en la atmósfera, como el calor en un invernadero. Este efecto es la causa principal del cambio climático actual.

El gas de efecto invernadero que tiene mayor impacto sobre el clima de la Tierra es el bióxido de carbono (CO_2). Este gas es transparente a la radiación visible, por lo que no absorbe la energía del Sol, pero retiene la que emite la Tierra como radiación infrarroja, de longitud de onda más larga. Por ello, el aumento en la concentración de CO_2 en la atmósfera produce un incremento en la temperatura de la superficie terrestre. El aumento en la concentración de CO_2 en la atmósfera es un dato duro e inobjetable que ningún análisis serio niega. Desde el inicio de la industrialización, la concentración de CO_2 en la atmósfera ha aumentado 35%, pasando de 280 partes por millón (ppm) a 379 ppm, mientras que en los 8000 años previos a la industrialización sufrió un incremento de tan sólo 20 ppm. La tasa de incremento anual del CO_2 ha sido mayor durante los últimos 10 años, con una tasa promedio de 1.9 ppm/año en el periodo de 1995 a 2005.

Varios de los principales gases de efecto invernadero están presentes en la atmósfera de forma natural, pero el aumento en sus concentraciones atmosféricas en los últimos 250 años se debe en gran medida a las actividades humanas, principalmente a la quema de combustibles fósiles (carbón y derivados del petróleo) y a la deforestación. Cabe señalar que no todo el CO_2 generado durante la era industrial se encuentra en la atmósfera, pues alrededor del 50% ha sido absorbido por la biosfera y los océanos. Aunque la fracción de CO_2 en la atmósfera es muy pequeña (del orden del 0.038% del volumen total de ésta), por sus propiedades de absorción de la radiación infrarroja basta un cambio pequeño en su concentración para incrementar notablemente la cantidad de energía que se queda en la atmósfera.

Asimismo, el cambio en los flujos de energía provocado por el aumento del CO_2 afecta procesos como el ciclo hidrológico, que es de vital importancia pues el agua desempeña un papel primordial en el clima terrestre. Las nubes, por ejemplo, reflejan parte de la energía que llega del Sol y la devuelven al espacio. También modifican la retención de energía en las capas bajas de la atmósfera y en la superficie del planeta dependiendo de su altura. Pero aún hay mucha incertidumbre acerca de la magnitud del efecto del aumento del CO_2 sobre el ciclo hidrológico, porque éste depende de muchos factores que es difícil medir con precisión, como la cobertura de nubes, su tipo y altura.

Con el cambio climático también se ven afectados los patrones de circulación oceánica y atmosférica, lo que a su vez modifica los climas regionales.

¿Y el futuro?

Los documentos del IPCC contienen predicciones del cambio climático basadas en observaciones directas, así como en modelos numéricos que simulan lo que podría pasar con el clima a partir de las condiciones actuales. Estas predicciones indican que los cambios en las concentraciones de gases de efecto invernadero producirán calentamiento y otros cambios climáticos. He aquí lo que prevén los científicos.

El cambio climático debido a la composición atmosférica observada en el año 2000 corresponde a una tendencia de calentamiento de alrededor de 0.1°C por década durante las dos décadas siguientes.

Para cada una de las regiones continentales, la temperatura promedio proyectada



para el periodo 2000-2050, como resultado de los distintos escenarios de emisiones, se elevará a un ritmo mayor que el promedio global y el calentamiento observado será mayor que en el siglo pasado.

Se prevé que el nivel del mar se siga elevando en las próximas décadas y disminuya la cubierta de nieve. De hecho, el calentamiento pronosticado como producto de la emisión de gases de efecto invernadero durante el siglo XXI seguirá contribuyendo a la elevación del nivel del mar por muchos siglos.

Se pronostican incrementos generalizados en los deshielos sobre la mayoría de las regiones de *permafrost* y que amplias regiones del Océano Ártico no permanezcan cubiertas de hielo durante todo el año para fines del siglo XXI.

La mayoría de los modelos predicen que las temperaturas superficiales del mar en la región central y oriental del Pacífico ecuatorial se elevarán más que en la región occidental, con un correspondiente desplazamiento promedio de la precipitación hacia el este.

La intensidad de los ciclones tropicales cambiará. Se intensificarán los vientos máximos y las precipitaciones máximas, con la posibilidad de una disminución en el número de huracanes relativamente débiles y un incremento en el número de huracanes intensos. Sin embargo, se proyecta que el número total de ciclones tropicales decrezca globalmente.

Las investigaciones indican una tendencia hacia un incremento en los eventos diarios de lluvias intensas en muchas regiones, incluyendo algunas en las cuales la precipitación promedio se espera que disminuya debido a una reducción en el número de días con lluvia, pero no en la intensidad de la lluvia cuando ésta ocurre.

Por último, en el Hemisferio Norte se pronostica para el siglo XXI un aumento de la precipitación subpolar y polar, así como una disminución de la precipitación en muchas regiones subtropicales.

Calentamiento global o cambio climático

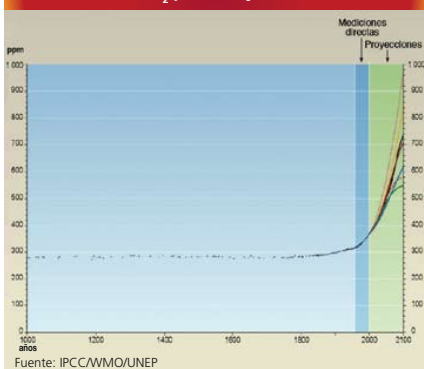
Frecuentemente hablamos de calentamiento global para referirnos a los cambios del clima que se han detectado en las últimas décadas. Pero el clima es resultado de la interacción entre el océano, la atmósfera, la litósfera, la criósfera y la biosfera, alimentados por la energía del Sol, en un complejo sistema del cual aún falta mucho por saber. Los cambios climáticos que se están observando modifican la temperatura promedio de la Tierra, pero también alteran los otros componentes del clima, los cuales son tan o más importantes para nuestra vida cotidiana como los cambios en la temperatura.

Mitigación y adaptación

El cambio climático es real y no hay punto de retorno. El gas de efecto invernadero que tiene mayor impacto sobre el clima de la Tierra es el bióxido de carbono (CO_2) y su nivel actual de concentración en la atmósfera ya lo está afectando. Este gas de efecto invernadero es el que tiene mayor impacto sobre el clima de la Tierra. Mientras tanto, cada año consumimos más combustibles fósiles que el año anterior. Se ha propuesto disminuir el ritmo de aumento en la producción de CO_2 , pero según todas las predicciones, la concentración de CO_2 en la atmósfera continuará en ascenso en las próximas décadas. Ante esta situación el IPCC propone mitigar el impacto para hacer menos drástico el cambio climático.

Incluso si cortáramos de tajo las emisiones (lo cual sería imposible porque la economía mundial se detendría), el exceso de CO_2 asociado a las actividades humanas se mantendría en la atmósfera por muchos años. Esto se debe a que el CO_2 , como el

Concentraciones atmosféricas de CO_2 pasadas y futuras





metano y el óxido nítrico, es químicamente estable. Pero aun si restableciéramos los niveles originales de gases de efecto invernadero en la atmósfera, el clima no regresaría a su estado anterior.

Ante el fenómeno del cambio climático se requiere preparación y adaptación para disminuir la vulnerabilidad de las poblaciones, incluyendo el desarrollo de nuevas tecnologías y patrones de consumo. Algunas

medidas, que ya se están implementando en algunos países, incluyen el diseño de infraestructura apropiada para proteger zonas costeras y prevenir inundaciones repentinas.

Asimismo, se requieren políticas y estrategias para el manejo eficiente del agua y del suelo, y para enfrentar fenómenos como las ondas de calor. Las medidas de adaptación son altamente dependientes de factores de riesgo específicos asociados con las condiciones geográficas, sociales y climáticas de cada región, así como de restricciones financieras, institucionales y políticas. Los países en desarrollo, como el nuestro, son más vulnerables al cambio climático debido a la falta de recursos y a diversas limitaciones para desarrollar una capacidad de adaptación adecuada.

Entre las nuevas tecnologías que se contemplan para mitigar los impactos adversos sobre el clima se pueden mencionar las siguientes:

En el sector energético se plantea el desarrollo de energías renovables como la hidroeléctrica, la energía solar, la eólica, la geotermia y la bioenergía.

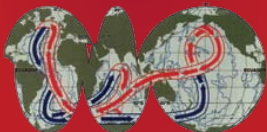
En el sector de transportes se sugiere fabricar vehículos más eficientes en el consumo de combustible, vehículos híbridos y de diesel más limpios, así como el desarrollo de biocombustibles. Es necesario mejorar los sistemas de transporte público y favorecer el uso de transportes ferroviarios.

Por otra parte, hay que fabricar aparatos eléctricos y de acondicionamiento ambiental más eficientes, utilizar fluidos de refrigeración alternativos y mejorar el

El mar y el clima

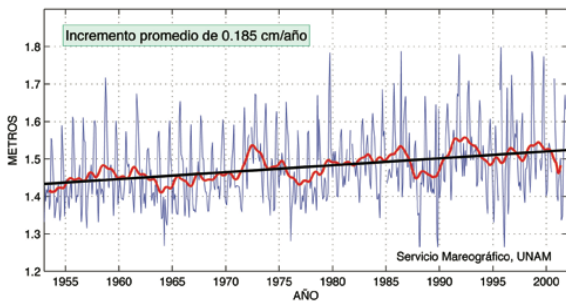
El océano intercambia masa y energía con la atmósfera. Su capacidad de absorber calor es mucho mayor que la de ésta: una columna de agua de 2.5 metros de profundidad tiene la misma capacidad calorífica que toda la columna de aire que tiene encima.

La luz del Sol penetra varias decenas de metros y su calor se distribuye en una zona de aguas superficiales llamada *capa de mezcla oceánica*, que es la parte del océano que interactúa directamente con la atmósfera. Las aguas superficiales se hunden en ciertas regiones muy restringidas del océano. Al hundirse transportan al fondo el CO_2 que han absorbido. Las características de temperatura y concentración de CO_2 y de otros gases en el océano profundo están determinadas por las propiedades del agua de las regiones de hundimiento (conocidas como *regiones de formación de agua profunda*). Una masa de agua que se hunde en estas zonas vuelve a entrar en contacto con la atmósfera en un promedio de 2000 años, por lo que el fondo del mar guarda una especie de memoria climática.



La circulación vertical en el océano: en azul la circulación profunda y en rojo la superficial.

El nivel del mar en Veracruz



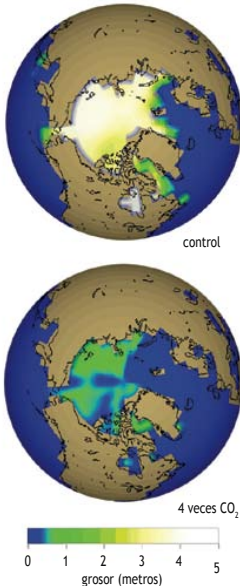
Cambio en el nivel del mar en el Puerto de Veracruz, México. Los datos de 1953 a 2001 muestran una elevación promedio de 0.18 cm/año, al igual que los cambios estimados a nivel planetario para ese periodo.

Fuente: Servicio Mareográfico Nacional, Instituto de Geofísica, UNAM



aislamiento en las construcciones. En la industria se requiere equipo eléctrico más eficiente, el uso de materiales reciclables

El deshielo



Se prevé un deshielo sustancial del Océano Ártico. Aquí se muestra un modelo del grosor del hielo a finales del invierno en el Polo Norte para control y una simulación de cómo se vería al incrementar cuatro veces el CO_2 .
Fuente: GFDL/NOAA

y un control estricto de las emisiones. Asimismo, es preciso mejorar las técnicas de cultivo y de aplicación de fertilizantes, combatir la deforestación y estimular la reforestación.

México ante el cambio climático

Si bien es cierto que todos somos ciudadanos del mundo, también es cierto que no todos contribuimos igual al aumento de los gases de efecto invernadero, ni individual ni nacionalmente. Por ejemplo, con base en datos del 2004 de las Naciones Unidas, los países que contribuyen con una mayor cantidad de emisiones anuales de CO_2 producto de la actividad humana son: los Estados Unidos con 6049 Mt (millones de toneladas métricas), equivalentes al 22.2% del total mundial; China con 5010 Mt, equivalentes al 18.4%, y la Unión Europea con 3115 Mt, que equivalen al 11.4%. A ellos le siguen Rusia, India y Japón con cantidades aproximadas de 5%, y México ocupa el onceavo lugar en la lista, con el 1.6% de las emisiones totales.

También es distinta la capacidad de las naciones de modificar las estructuras socioeconómicas para disminuir el impacto sobre el clima. Los acuerdos sobre cuáles medidas se tomen y con qué ritmo se implementen, afectarán de diferente forma a las sociedades y provocarán un reacomodo de las economías nacionales. Debemos tener claro que hay grandes intereses económicos y políticos que están empujando para definir, no sólo si se toman más o menos medidas para aminorar el impacto sobre el clima, sino cuáles y con qué ritmo.

México tiene que desarrollar un debate profundo sobre la posición que tomará en los organismos internacionales. La Orga-

nización de las Naciones Unidas es el foro que conviene privilegiar. Nuestro país debe informarse para adoptar una estrategia que no agrave nuestra dependencia científica y tecnológica. No basta disminuir las emisiones y sembrar arbolitos. Se debe planear el desarrollo del país con una perspectiva de mediano y largo plazo en todas las áreas, principalmente las de energéticos y medio ambiente. Habrá que decidir, por ejemplo, qué medidas se tomarán para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero y a qué ritmo se van a aplicar; y también lo que se hará para desarrollar fuentes alternativas de energía. Es indispensable que se estudien los distintos escenarios que se prevén con el cambio climático a nivel regional, evaluando el impacto en la economía, salud y vulnerabilidad de la población a eventos extremos y estableciendo las medidas para mitigarlos.

Éste es un gran tema del desarrollo científico y tecnológico nacional para los próximos años. 🐼

Para nuestros suscriptores

La presente edición va acompañada por una guía didáctica, en forma de separata, para abordar en el salón de clases el tema de este artículo.

Jorge Zavala Hidalgo es investigador en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM. Estudió física y realizó sus estudios de maestría en la UNAM y el doctorado en el CICESE. Fue investigador posdoctoral e investigador visitante en la Universidad Estatal de Florida, EUA.

Rosario Romero Centeno estudió matemáticas en la Facultad de Ciencias de la UNAM, realizó su maestría en oceanografía física en el CICESE y obtuvo su doctorado en física de la atmósfera. Actualmente, es investigadora en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

Las sustancias químicas, antes y después de la construcción de la tabla periódica

Aprendizaje (s)

8. Reconoce algunos patrones y tendencias de las propiedades de los elementos químicos en la organización de la tabla periódica. (N2)

Ficha bibliográfica del texto o material

Chamizo, J. (2019) las sustancias químicas, antes y después de la construcción de la tabla periódica. Educación Química. 30(4). Pp. 98-107

Sinopsis

La ciencia ha dejado de entenderse como un catálogo de conceptos y saberes, para convertirse en una práctica propia de los

seres humanos. De vez en vez hay cambios en las formas de entender el mundo, cambios que hacen que lo que era ya no lo sea. La química como ciencia no es la excepción, durante su desarrollo y consolidación han ocurrido diversas transformaciones o revoluciones, una de estas dio lugar a la condensación en una herramienta visual e icónica del conocimiento químico: propiedades, capacidad de combinación y masa permitieron organizar a los elementos existentes, de forma coherente, de paso, se logró establecer una diferencia entre términos que se usaban como sinónimos: molécula, átomo, y equivalente.

Justificación

El texto, aunque puede parecer difícil para los alumnos, con ayuda del docente puede ir consolidando el aprendizaje de las características de los elementos y su clasificación, así como los patrones que surgen de la organización en la tabla periódica; la forma de trabajo sugerida promueve la autonomía y la colaboración.

Momento de uso: Desarrollo.

Forma de trabajo: Triadas/pequeños equipos colaborativos.

Instrucciones:

Organice al grupo en triadas, pero evite que quede algún alumno sin compañía. Pida que lean el texto, invitando a los alumnos a tomar notas de éste, donde centren su atención en

las ideas sobre: el concepto de paradigma, revolución científica, las ideas de Mendeleyev para organizar a los elementos, la diferencia entre elemento y sustancia simple, las confusiones entre átomo y molécula y que escriban si ellos tienen confusiones parecidas, que hagan una comparación entre los átomos para Bohr y Lewis, las diferencias entre átomos, moléculas y iones, y la diferencia entre masa atómica y número atómico. Una vez que tengan sus notas, organice cuatro equipos mezclando a los alumnos y pídales que con sus notas construyan un mapa conceptual donde condensen y logren consensos sobre la información solicitada.



LAS SUSTANCIAS QUÍMICAS, ANTES Y DESPUÉS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA TABLA PERIÓDICA

José Antonio Chamizo¹

Resumen

Para su enseñanza la Química General puede interpretarse a través de cinco revoluciones químicas (Chamizo, 2018) en las que la incorporación de instrumentos y la aparición de nuevas subdisciplinas resultan muy relevantes. A partir de las tres primeras, que marcan el nacimiento y consolidación de la propia química, la química orgánica y la fisicoquímica (Chamizo, 2014) se discute como se fue construyendo el concepto de sustancia y de elemento, particularmente en lo referente a la Tabla Periódica.

Palabras clave

Revoluciones químicas, tabla periódica, prácticas químicas, sustancia, elemento

Chemical substances, before and after the construction of the periodic table

Abstract

For its teaching, General Chemistry can be interpreted through five chemical revolutions (Chamizo, 2018) in which the incorporation of instruments and the appearance of new subdisciplines are very relevant. From the first three, which mark the birth and consolidation of chemistry itself, organic chemistry and physicochemistry (Chamizo, 2014) it is discussed how the concept of substance and element was built, particularly in relation to the Periodic Table.

Keywords

Chemical revolutions, periodic table, chemical practices, substance, element

¹ Facultad de Química-Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM



"Las sustancias químicas, antes y después de la construcción de la Tabla Periódica",

José Antonio Chamizo

Volumen 30 | Número 4 | Páginas 98-107 | octubre 2019

DOI: 10.22201/fq.18708404e.2019.4.70469

*Con frecuencia,
las trampas del lenguaje nos impiden entender el sentido de una oración
y nos empujan a interpretar mal una realidad determinada.
Por eso resulta siempre muy útil examinar el contexto en el que
se usan las oraciones o en que aparecen los hechos.
La descripción de la realidad es, pues,
una descripción de los contextos en que la realidad aparece:
a partir de esa descripción podemos saber en qué consiste
lo que estamos examinando y qué sentido tiene.*

J.M Terricabras

Introducción

Toda descripción del mundo depende de cómo lo dividimos y cómo lo modelamos. Es decir, al dividirlo consideramos una parte cuyos efectos deben tenerse en cuenta y otra cuyos efectos deben ignorarse.

La historia es lo que contamos hoy, con la información que tenemos de ayer. En la historia y filosofía de las ciencias ocupa un lugar muy importante el libro *Estructura de las revoluciones científicas*, de T. Kuhn, donde el autor, contra la idea entonces sostenida de continuidad, propuso la de ruptura alrededor de la idea de revolución científica. Una revolución: *es una clase especial de cambio, que abarca cierta índole de reconstrucción de los compromisos de cada grupo* (Kuhn, 1971, p. 277). Los compromisos que comparten los grupos o comunidades científicas se reconocen con la palabra paradigma que significa: *criterio para seleccionar problemas que, mientras se dé por sentado el paradigma, puede suponerse que tienen soluciones* (Kuhn, 1971, p. 71). Así las diferentes comunidades científicas comparten a lo largo de su historia un paradigma y alrededor del mismo trabajan haciendo "ciencia normal", que es: *la actividad en que inevitablemente, la mayoría de los científicos consumen casi todo su tiempo, se predica suponiendo que la comunidad científica sabe cómo es el mundo. Gran parte del éxito de la empresa se debe a que la comunidad se encuentra dispuesta a defender esa suposición, si es necesario, a un costo elevado. Por ejemplo, la ciencia normal suprime frecuentemente innovaciones fundamentales, debido a que resultan necesariamente subversivas para sus compromisos básicos* (Kuhn, 1971, p. 26). Cuando hay una revolución científica la comunidad cambia su paradigma, modificando las actividades relacionadas con la ciencia normal y de manera muy importante su enseñanza. Kuhn, más que ningún otro filósofo, insistió en la importancia de la educación en la conformación de lo que él llamó 'ciencia normal': *Sin embargo, puesto que los libros de texto son vehículos pedagógicos para la perpetuación de la ciencia normal, siempre que cambien el lenguaje, la estructura de los problemas, o las normas de la ciencia normal, tienen íntegramente, o en parte, que volver a escribirse.* (Kuhn, 1971, p. 214).

En los últimos años ha ido quedando claro que los paradigmas no son únicamente sistemas de creencias, lo son también de prácticas. Las prácticas consideran un saber tácito (Polanyi, 1966), aquel que no puede expresarse en palabras, propio de diferentes actividades de investigación que poco a poco se han ido reconociendo como fundamentales en la filosofía de las ciencias. Una práctica específica da por sentado conocer otras prácticas diferentes y, más en general, una serie de presupuestos culturales que permiten distinguir una práctica de otra (Olive, 2008). Así los paradigmas pueden caracterizarse también como



"Las sustancias químicas, antes y después de la construcción de la Tabla Periódica",
José Antonio Chamizo
Volumen 30 | Número 4 | Páginas 98-107 | octubre 2019
DOI: 10.22201/eq.18708404e.2019.4.70469

maneras específicas de hacer cosas que involucran procesos de enseñanza-aprendizaje. *Los paradigmas no son meros hábitos mentales, sino más bien hábitos-habilidades que incorporan expectativas de colaboración en el marco de prácticas y otras organizaciones.* (Martínez y Huang, 2015, p. 191). Por ejemplo, en la enseñanza de la química las prácticas experimentales son imprescindibles (Nieto y Chamizo, 2013).

Con intenciones educativas la historia de la química puede dividirse en varias revoluciones (Jensen, 1998; Chamizo, 2014, 2015, 2018) caracterizadas por la incorporación de diferentes instrumentos a través de los cuales se modificaron las prácticas experimentales que contribuyeron a definir nuevas subdisciplinas (Figura 1). En el presente artículo se discutirá cómo fue cambiando el concepto de sustancia¹, en las tres primeras revoluciones, una vez que en la cuarta revolución el cambio de ese concepto fue motivo de un artículo en *Educación Química* (Chamizo, 2017).

Revolución (Período)	Características generales	Instrumentos	Protagonistas
Primera (1754-1818)	Oxígeno Química cuantitativa Lenguaje Átomos	Cuba hidroneumática. Balanza. Calorímetro. Pila voltaica.	A. Lavoisier J. Dalton. A. Volta
Segunda (1828-74)	Congreso de Karlsruhe Moléculas Valencia Tabla periódica Química orgánica industrial	Kaliapparat. Polarímetro.	J. Liebig S. Cannizzaro A. Kekulé E. Frankland D. Mendeleiev W. Perkin
Tercera (1887-1923)	Química eléctrica Química nuclear Rayos X Fisicoquímica	Tubo de rayos catódicos. Espectrómetro de masas.	J. Thomson F. Aston M. Curie G.N.Lewis
Cuarta (1945-66)	Química instrumental Química cuántica Química y bioquímica orgánica sintética Química macromolecular	Espectrómetros (UV, IR) RMN. Cromatografía.	L. Pauling R. Woodward R. Hoffmann H. Staudinger A.J.P. Martin
Quinta (1974-99)	Química verde Química organometálica Química supramolecular Nanquímica Femtoquímica	Detector de captura de electrones. Microscopio de barrido de efecto túnel. Fotólisis de destello con laser de zafiro-Ti.	M. Molina J.E. Lovejoy G. Wilkinson J.M. Lehn H. Kroto A. H. Zewail

Figura 1. Las cinco revoluciones químicas.

¹ Que como es bien sabido está estrechamente relacionado con el concepto de mol y el de cambio químico.



"Las sustancias químicas, antes y después de la construcción de la Tabla Periódica",

José Antonio Chamizo

Volumen 30 | Número 4 | Páginas 98-107 | octubre 2019

DOI: 10.22201/eq.18708404e.2019.4.70469

LA SUSTANCIA QUÍMICA

*La química enfrenta la complejidad del mundo real,
mediante el ajuste del mundo material en el laboratorio,
a sus conceptos de clasificación...
A diferencia del ideal de universalismo,
la metodología de la química proporciona un tipo de conocimiento
parcial y pragmático,
que es paradigmático de las ciencias más experimentales,
que requiere la reconsideración del enfoque estándar de la filosofía de la ciencia,
así como la dimensión ética de la ciencia y la tecnología*

J. Schummer

Las primeras prácticas experimentales presentes en todas las culturas antiguas, los primeros oficios que hoy reconocemos anteceden a la química fueron desarrollados por, alfareros, herreros, panaderos, y curanderos... Hay que recordar que la palabra latina *laborare* nos remite fundamentalmente al trabajo manual, el cual era realizado, tanto en el imperio romano como en las ciudades griegas que le antecedieron, por los esclavos. Sin embargo, seguramente fue en Alejandría, hace poco más de dos mil años, donde la especulación filosófica griega, al entrar en contacto con otras culturas de tradición más artesanal y con aprecio por el trabajo manual, se concretó en una actividad práctica que desde entonces conocemos como alquimia. Alquimistas fueron los primeros laboratorios y en ellos se llevaron a cabo los primeros experimentos sistemáticos para poner a prueba la explicación del mundo a partir de las cuatro sustancias elementales, agua, aire, tierra y fuego. Así empezó un largo y oscuro trayecto, en un vasto territorio que ocupó parcialmente África, Asia y Europa, que nos dotó de importantísimas técnicas experimentales, especialmente la destilación, y de "nuevas" sustancias, que no se encontraban en el mundo como hasta entonces era conocido, es decir sustancias "artificiales", como algunos ácidos², el fósforo o el alcohol. A finales de la edad media, la alquimia europea se fue desplazando poco a poco de sus intereses iniciales, más centrados en la mineralogía y la metalurgia, a la medicina con lo que fue objeto de interés de algunos de los más importantes y destacados personajes de la época. Si hay que destacar a un alquimista de ese periodo, éste es Paracelso (1493-1541), fundador de la iatroquímica, quién acuñó la famosa frase, correcta hoy en día: "Todas las sustancias son venenosas. La dosis correcta diferencia el remedio del veneno."

No es sino hasta el periodo conocido en Europa como la Ilustración, que coincide con lo que aquí caracterizamos como primera revolución química, cuando se construye una definición operativa de sustancia. Ésta se debe al francés A. Lavoisier (1743-1794) quien consideró 33 sustancias como elementos, usando su definición de sustancia, es decir aquella que no se podía "romper" en entidades más simples a través del análisis químico³. Como lo dice en su famoso *Tratado Elemental de Química* aparecido en 1789 y que es seguramente el libro de texto fundacional de la química tal y como hoy la conocemos⁴:

Todo lo que se puede decir sobre el número y la naturaleza de los elementos se limita –según pienso– a discusiones puramente metafísicas: son problemas indeterminados los que se trata de resolver, que son susceptibles de una infinidad de soluciones, pero que, muy probablemente, ninguna en particular está de acuerdo con la naturaleza. Me contentaré, por lo tanto, con decir que si por el nombre de elemento, entendemos designar las moléculas simples e indivi-

² Por ejemplo los ácidos sulfúrico, nítrico y clorhídrico.

³ Además de las entonces bien conocidas como el oro, el cobre, el mercurio, el azufre, la magnesia, o el oxígeno, incluyó en su lista al calórico y la luz. Evidentemente y visto desde nuestro presente la separación entre materia y energía era un asunto de compleja resolución experimental.

⁴ La traducción al castellano de este libro se realizó en la Nueva España, antes que en España, para su uso en el Real Seminario de Minería en 1797. Hay una edición facsimilar publicada por la Universidad Autónoma Metropolitana en 1990.



"Las sustancias químicas, antes y después de la construcción de la Tabla Periódica",
José Antonio Chamizo
Volumen 30 | Número 4 | Páginas 98-107 | octubre 2019
DOI: 10.22201/eq.18708404e.2019.4.70469

sibles⁵ que componen los cuerpos, es probable que no los conociéramos; que si por el contrario, atribuimos el nombre de elementos o de principios de los cuerpos la idea del último término al que llega el análisis, todas las sustancias que no hemos podido descomponer todavía por ningún medio, son, para nosotros, elementos; no significa que podamos asegurar que estos cuerpos que consideramos como simples no sean ellos mismos compuestos de dos o incluso de un número más grande de principios, pero dado que estos principios no se separan jamás, o más bien, dado que no disponemos de ningún medio para separarlos, se comportan desde nuestro punto de vista como cuerpos simples, y no debemos suponerlos compuestos más que cuando la experiencia o la observación nos haya ofrecido la prueba.

Y fue a partir del uso de nuevas técnicas experimentales, particularmente derivadas de la incorporación de la pila voltaica en los laboratorios, que el número de elementos creció de manera importante resultado de la electrólisis de sustancias que los contenían⁶. Todos los elementos son sustancias, pero no todas las sustancias son elementales; algunas lo son compuestas por diferentes elementos. El agua, por ejemplo, es una sustancia formada por los elementos hidrógeno y oxígeno en cantidades definidas. El agua oxigenada es otra sustancia, formada también por los elementos hidrógeno y oxígeno en cantidades definidas pero diferentes a las del agua que bebemos. Quedaba claro que no sólo la composición caracterizaba a una sustancia, sino que también la proporción en la que cada elemento se encontraba en ella. Todo ello se podía medir y experimentar en los laboratorios. A partir de esa época, particularmente a partir de la propuesta del inglés J. Dalton (1766-1844), se fue aceptando la idea de que los elementos estaban compuestos por átomos iguales, que los átomos conformaban las moléculas y que al ser ambos muy pequeños, enormes conglomerados de las mismas partículas integraban los elementos que entonces se conocían.

La segunda revolución se caracteriza por la aparición de la química orgánica⁷. La comunidad química se volcó a entender esta subdisciplina lo que permitió consolidar los conceptos de molécula⁸, isomería y valencia en el Congreso de Karlsruhe (1860), el primer congreso científico de la historia. Uno de los asistentes al mismo, D. Mendeleiev (1834-1907), con fines didácticos propone su tabla periódica para organizar el creciente conocimiento que se estaba desarrollando.

La tabla periódica de los elementos fue elaborada para explicar la reactividad química de los elementos conocidos en la época, es decir la segunda mitad del siglo XIX. A continuación se reproduce el primer y muy corto artículo sobre la tabla periódica publicado por Mendeleiev en alemán (y posteriormente en inglés) aparecido en la revista *Zeitschrift für Chemie* en 1869 y por el que fue conocido como el autor de la Tabla Periódica en toda Europa⁹. Como se podrá ver tiene errores y desde luego grandes aciertos.

Si se organizan los elementos en columnas verticales de acuerdo con el aumento del peso atómico, de modo que las filas horizontales contienen elementos análogos, también dispuestos de acuerdo con el aumento del peso atómico, se obtiene la siguiente tabla, de la cual es posible derivar una serie de deducciones generales

⁵ Para Lavoisier no estaba claro la diferencia entre átomos y moléculas, asunto que se precisa durante la segunda revolución química.

⁶ Destaca particularmente el trabajo del químico inglés H. Davy (1778-1829) al que se le atribuyen el aislamiento de sus sales, entre otros elementos, del Na, K, Mg, Ca y Sr.

⁷ Donde juegan un papel fundamental; por un lado el uso del *kaliapparat*, instrumento desarrollado por J. Liebig (1803-1873) para determinar la composición de las sustancias "orgánicas", y por el otro la síntesis e industrialización del colorante malva por W. Perkin (1838-1907).

⁸ Particularmente por la diferencia establecida entre átomos y moléculas, comunicada en el pequeño libro *Bosquejo de un Curso de Filosofía Química* del químico italiano S. Cannizzaro (1826-1910), discípulo de A. Avogadro (1776-1856).

⁹ Ya que el libro de texto en que apareció por primera vez la tabla periódica, *Principios de Química* se publicó en ruso en 1868.

1. Cuando se organizan de acuerdo con la magnitud de sus pesos atómicos, los elementos muestran una alteración escalonada en sus propiedades.
2. Los pesos atómicos de elementos químicamente análogos tienen valores similares (Pt, Ir, Os) o aumentan de manera uniforme (K, Rb, Cs).
3. La disposición según el peso atómico corresponde a las valencias de los elementos y, en cierto grado, a las diferencias en su comportamiento químico, por ejemplo, Li, Be, B, C, N, O, F.
4. Los elementos más dispersos en la naturaleza tienen pequeños pesos atómicos, y todos estos elementos se distinguen por sus caracteres claramente definidos. Por lo tanto, son elementos típicos y, con justificación, el elemento más ligero, H, puede elegirse como el estándar típico.
5. La magnitud del peso atómico determina las propiedades del elemento, por lo tanto, en el estudio de los compuestos se debe tener en cuenta no solo el número y las propiedades de los elementos y sus interacciones recíprocas, sino también el peso atómico de los elementos. Por lo tanto, los compuestos de Se y Te, Cl y I muestran muchas analogías, por muy conspicuas que sean sus diferencias.
6. Permite prever el descubrimiento de muchos elementos nuevos, por ejemplo, análogos de Si y Al con pesos atómicos entre 65 y 75.
7. Es de esperar que algunos pesos atómicos requieran correcciones, por ejemplo, Te no puede tener un peso atómico de 128, sino más bien entre 123 y 126.
8. La tabla anterior sugiere nuevas analogías entre elementos. Por lo tanto, Bo (?) [U] aparece como un análogo de Bo y Al, como es bien sabido, y ha sido firmemente establecido por experimento. (Mendeleiev 1869- Jensen, 2002, pp.16-17)

Hay que recordar que el congreso fue convocado por tres reconocidas personalidades de la época, K. Weltzein (1813-1870), F.A. Kekulé (1829-1896) y C.A. Wurtz (1817-1884) que ambicionaban, como Lavoisier años atrás, reformar y perfeccionar el lenguaje de la química. También que se debe a Kekulé, continuando las ideas de E. Frankland (1825-1899), la incorporación del término "atomicidad", antecesor del de "valencia" para referirse al poder de combinación de un determinado átomo.



"Las sustancias químicas, antes y después de la construcción de la Tabla Periódica",

José Antonio Chamizo

Volumen 30 | Número 4 | Páginas 98-107 | octubre 2019

DOI: 10.22201/eq.18708404e.2019.4.70469

el acuerdo de que las moléculas estaban constituidas por átomos. En esa dirección de precisar el lenguaje indicó que: *una sustancia simple es algo material, metal o metaloide, dotado de propiedades físicas y capaz de reacciones químicas ... [...] ... La palabra elemento corresponde a la idea de un átomo. Por lo tanto, el carbono es un elemento, pero el carbón, el grafito y el diamante son sustancias simples.* (Mendeleiev 1869-Jensen, 2002, p.38)

Mendeleiev utilizó el concepto abstracto de elemento¹¹ (Boyce, 2019) con un importante papel teórico. Debido a que la química se ocupa de la explicación del cambio químico, los elementos 'abstractos' sobreviven al cambio químico¹², lo que significa que persisten y pueden explicar las propiedades de sus compuestos.

Sin embargo, todas las personas comprenden, que en todos los cambios en las propiedades de las sustancias simples, algo permanece sin cambios y que, en la transformación de los elementos en compuestos, este material determina las características comunes de los compuestos formados por un elemento dado. A este respecto, solo se conoce un valor numérico, y este es el peso atómico apropiado para el elemento. La magnitud del peso atómico, de acuerdo con la naturaleza real y esencial del concepto, es una cantidad que no se refiere al estado momentáneo de la sustancia simple, sino que pertenece a una parte material del mismo, una parte que tiene en común con la sustancia simple libre y con todos sus compuestos. El peso atómico no pertenece ni al carbón ni al diamante, sino al carbono. (Mendeleiev 1869-Jensen, 2002, pp.24-25)

Así se tiene una importante distinción y cuando dos sustancias simples diferentes contienen el mismo elemento reciben el nombre de alótropos¹³ (Figura 2). La composición última de las sustancias simples a nivel atómico, es decir elemental, no es suficiente para su caracterización; se requiere saber además su estructura, que se manifiesta en las diferentes sustancias simples por sus diferentes propiedades físicas¹⁴.

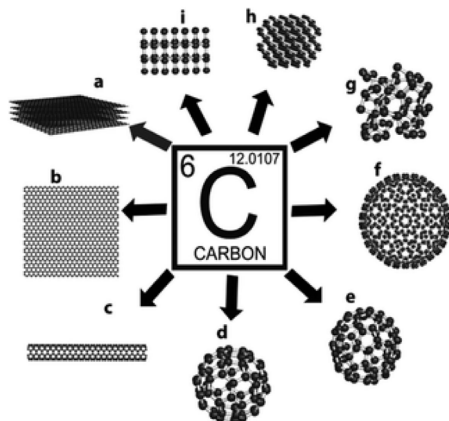


Figura 2. Diferentes alótropos, es decir diferentes sustancias simples del elemento Carbono¹⁵. (a) grafito, (b) grafeno, (c) nanotubos de carbono, (d) C60, (e) C70, (f) C540, (g) carbón amorfo, (h) lonsdaleita, y (i) diamante.

¹⁵ En inglés se utiliza *carbon* para el elemento y *charcoal* para la sustancia simple. La figura proviene de un texto en inglés.

¹¹ Hay que recordar que en esa época los átomos no eran reconocidos por toda la comunidad química como entidades *per se*, es decir con existencia, lo que dio lugar, en ocasiones confusamente, a identificar a los elementos con sustancia básica (Scerri 2007).¹² Donde juegan un papel fundamental; por un lado el uso del *kaliapparat*, instrumento desarrollado por J. Liebig (1803-1873) para determinar la composición de las sustancias "orgánicas", y por el otro la síntesis e industrialización del colorante malva por W. Perkin (1838-1907).¹³ Por ejemplo, sólo los 'abstractos' elementos, sobreviven cuando el Na y el Cl se combinan para formar NaCl. Ni el sodio (que como sustancia simple es un metal gris) ni el cloro (que como sustancia simple es un gas verde), sobreviven cuando se combinan para formar otra sustancia simple (sólido blanco cristalino) conocida como sal de mesa. De esta manera, hay una clara diferencia entre el abstracto concepto de elemento y las cosas materiales o sustancias simples.¹⁴ Hasta el siglo XIX se pensaba que el grafito y el diamante eran dos sustancias simples distintas, lo cual sigue siendo igualmente aceptado hoy, ya que de acuerdo con la definición de sustancia química el grafito y el diamante tienen propiedades físicas diferentes. Sin embargo fue entonces, hace doscientos años, cuando Davy tomó uno de los diamantes de su acudalada esposa y lo quemó. El único producto resultante de la combustión fue CO₂ (el mismo resultado de quemar el grafito). Este ha sido uno de los experimentos más caros para demostrar la existencia de los alótropos.



"Las sustancias químicas, antes y después de la construcción de la Tabla Periódica",
José Antonio Chamizo

Volumen 30 | Número 4 | Páginas 98-107 | octubre 2019
DOI: 10.22201/eq.18708404e.2019.4.70469

Durante la tercera revolución química caracterizada, como se indica en la Figura 1, por la incorporación de importantes instrumentos en las prácticas de la física y la química, como el tubo de rayos catódicos¹⁶, el espectrómetro de masas¹⁷ o la espectroscopia de rayos X, se descubrieron el electrón, el núcleo atómico y los isótopos. Todas estas nuevas entidades 'ocultas'¹⁸, junto con los iones pasaron a formar parte de los nuevos libros de texto que se escribieron entonces. Fue durante la tercera revolución química, un siglo después de incorporarse a las prácticas químicas y a pesar del escepticismo sobre su existencia por importantes físicos y químicos, que J. Perrin (1870-1942) demostró la realidad de los átomos (y con ello de las moléculas) una vez que sólo a través de ellos se pueden explicar los resultados de diversos experimentos. El sustrato invisible y oculto de las sustancias químicas era por primera ocasión aceptado por la inmensa mayoría de la comunidad científica. El modelo atómico de G.N. Lewis (1875-1946) se entroniza en las prácticas químicas (particularmente en las de química orgánica ya que es capaz de explicar las reacciones moleculares) mientras que el de N. Bohr lo hace en la de física (particularmente las relacionadas con la espectroscopia), que poco a poco colonizan la enseñanza de la química (Chamizo, 2007; Chamizo y Garritz, 2014). Más aún el descubrimiento de los gases nobles por W. Ramsay (1852-1916) permitió identificar las primeras y únicas sustancias simples que también eran elementales. En 1913 H.G.J. Moseley (1887-1915) publicó en la revista *Philosophical Magazine* el artículo "The High-Frequency Spectra of the Elements" en el que relaciona los valores de la longitud de onda de los rayos X emitidos por diferentes sustancias simples tras ser bombardeados por electrones y los números atómicos de sus elementos. De la regularidad de sus resultados¹⁹, Moseley remarcó el hecho de que los espectros de Co y Ni, con pesos atómicos semejantes, revelaban que el cobalto debía preceder al níquel en la tabla periódica. Más aún pudo identificar claramente el lugar de las llamadas "tierras raras" cuyos elementos tienen pesos atómicos y propiedades químicas semejantes. Así se reescribió la tabla periódica utilizando el número atómico en lugar del peso atómico. El número atómico es la característica física fundamental de los elementos, sin olvidar que en buena parte fue su reactividad química reconocida experimentalmente, como indica el filósofo J. Schummer en el epígrafe, la que permitió la construcción de la Tabla Periódica.

Conclusiones

*...la experiencia de un hombre no es nada, si se mantiene solo.
Si ve lo que otros no pueden ver, lo llamamos alucinación.
No es 'mi experiencia' sino 'nuestra' experiencia
sobre la que se ha de pensar
y este 'nosotros' tiene infinitas posibilidades*

Ch. S. Pierce

Cada descripción del mundo depende de cómo lo dividimos y cómo lo modelamos. Hasta la observación más sencilla está condicionada por el modo como lo aprehendemos. Quizás vemos el mismo cielo que veían los griegos o los mayas, pero en ese mismo cielo hoy, vemos galaxias y un espacio infinito, mientras que los griegos y mayas veían la mansión de los dioses, la bóveda incorruptible que gira alrededor de la Tierra plana e inmóvil. Toda experiencia directa tiene por condición a la historia y hoy es fruto de la capacidad de abstracción.

¹⁶ Con el que J.J. Thomson (1856-1940) descubrió el electrón.

¹⁷ Con el que el ayudante de J.J. Thomson, F.W. Aston (1877-1945) aisló y caracterizó a los isótopos de muchos elementos no radiactivos. La caracterización del fenómeno de la radioactividad así como el aislamiento del Ra y del Po se debió a M. Curie (1867-1934).

¹⁸ Una 'entidad oculta' es aquella que pueda ser manipulada experimentalmente y además un cuerpo de conocimiento puntual, objeto de un conjunto de prácticas desarrollado históricamente (Arabatzis, 2008).

¹⁹ Conocidos hoy como Ley de Moseley y que es una relación lineal entre la raíz cuadrada de la frecuencia en la emisión de rayos X y el número atómico Z.



"Las sustancias químicas, antes y después de la construcción de la Tabla Periódica",

José Antonio Chamizo

Volumen 30 | Número 4 | Páginas 98-107 | octubre 2019

DOI: 10.22201/eq.18708404e.2019.4.70469

Pero la abstracción, el pensar (Terricabras, 1999), no es suficiente, también en el mundo hay que intervenir (Hacking, 1983), experimentar (como lo hizo Lavoisier), crear; porque de lo contrario, como bien nos lo señaló Schwab (1962) hace ya muchos años, la educación termina siendo una 'retórica de conclusiones'... ¡para pensar en cómo se enfrenta la enseñanza de los átomos y las moléculas hoy!

Las comunidades químicas asumen y defienden sus particulares prácticas que se basan en construir su propio objeto de conocimiento, lo que se hace, como indica el filósofo Pierce en el epígrafe, de manera compartida. Desde la tercera revolución química (Wray, 2018) la realidad de sus entidades 'ocultas' (como átomos, moléculas, iones), contrastadas contra las comunidades físicas no siempre coinciden. Ambas comunidades tienen prácticas y ambiciones diferentes. Una no es mejor que la otra. Si por ejemplo la mecánica cuántica se reconociera equivocada, los químicos seguirían sintetizando nuevas sustancias. Hoy los físicos, siguiendo la forma de pensar de los químicos, sintetizan nuevos elementos en sus aceleradores de partículas, elementos que en su precariedad de sustancias simples no tienen interés químico. Sin embargo, apelando al pluralismo ontológico y reconociendo que no existe una práctica sin un contexto social de transmisión (principalmente educativo) a través del cual dicha práctica se re-produce y re-crea a sí misma, hay que reconocer con Mendelev que hay sustancias simples (a las que podemos acceder en un laboratorio químico) y elementos... Para eso sirve conocer la historia de la Tabla Periódica... ¡para pensar!

Referencias

- Arbatziz, T. (2008) Experimenting on (and with) Hidden Entities: The Inextricability of Representation and Intervention in Feest, U., Hon, G., Rheinberger, H.-J., Schickore, J., Steinle, F. (eds.) *Generating Experimental Knowledge*. Max Plank Institute for the History of Science, Berlin.
- Boyce C. (2019) Mendelev's Elemental Ontology and Its Philosophical Renditions in German and English. *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry*, 25, 49-70.
- Chamizo J.A. (2018) *Química General. Una aproximación histórica*. FQ- UNAM, México. Accesible en línea: http://www.joseantoniochamizo.com/pdf/quimica/libros/002_Quimica_general.pdf
- Chamizo, J.A. (2017) La cuarta revolución química (1945-1966). De las sustancias a las especies químicas, *Educación Química*, 28, 202-210.
- Chamizo, José, A., (2014), The role of instruments in 'Three Chemical' Revolutions, *Science & Education*, 23, 955-982.
- Chamizo, J.A. (2013) *De la paradoja a la metáfora. La enseñanza de la química a través de sus modelos*. UNAM-Siglo XXI, México.
- Chamizo, J.A. (2012) Heuristic diagrams as a tool to teach history of science, *Science & Education*, 21, 745-762.
- Chamizo, J. A. and Garritz, A. (2014) Historical Teaching of Atomic and Molecular Structure, en M. Matthews (ed), *International Handbook of research in History Philosophy and Science Teaching*, Springer, Dordrecht, pp. 343-375.
- Hacking I. (1983) *Representing and Intervening. Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Jensen W.B. (2002) *Mendelev on the Periodic Table. Selected Writings 1869-1905*. Dover, New York.
- Jensen, W. (1998) Logic, history, and the chemistry textbook. III one chemical revolution or three? *Journal of Chemical Education*, 75, 961-969



"Las sustancias químicas, antes y después de la construcción de la Tabla Periódica",

José Antonio Chamizo

Volumen 30 | Número 4 | Páginas 98-107 | octubre 2019

DOI: [10.22201/eq.18708404e.2019.4.70469](https://doi.org/10.22201/eq.18708404e.2019.4.70469)

- Kuhn T. (1971) *La Estructura de las Revoluciones Científicas*, Fondo de Cultura Económica, México
- Martínez S. y Huang X. (2015) *Hacia una filosofía de la ciencia centrada en prácticas*, Bonilla Artigas-Instituto de Investigaciones Filosóficas UNAM, México.
- Nieto E. y Chamizo J.A. (2013) *La Enseñanza Experimental de la Química. Las experiencias de la UNAM*, FQ-UNAM, México.
- Olivé L. (2008) Representaciones, producción de conocimiento y normatividad: un enfoque naturalizado, en Esteban y Martínez (comp.), *Normas y prácticas en la ciencia*, UNAM, Instituto de Investigaciones Filosóficas, México.
- Polanyi M. (1966) *The Tacit Dimension*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Scerri E. (2007) *The Periodic Table*, Oxford University Press, Oxford.
- Schwab J. J. (1962) *The teaching of science as inquiry*, Harvard University Press, Harvard.
- Terricabras J.M. (1999) *Atrévete a pensar. La utilidad del pensamiento riguroso en la vida cotidiana*, Paidós, Barcelona
- Wray K.B. (2018) The atomic number revolution in chemistry: a Kuhnian analysis, *Foundations of Chemistry*, 20, 209-217.

Recepcion: 27 de agosto de 2019 Aprobacion: 23 de septiembre de 2019

Enlaces Químicos

Aprendizaje (s)

9. Representa con base en modelos de Dalton y estructuras de Lewis las reacciones de síntesis de óxidos y escribe las ecuaciones balanceadas de las mismas (N_3).
10. Explica con base en las estructuras de Lewis la distribución de los electrones en los átomos y su relación con el grupo al que pertenecen los elementos estudiados y utiliza la regla del octeto como una forma simplificada de explicar la unión entre los átomos en las moléculas. (N_3)
11. Caracteriza a los enlaces entre dos átomos según el modelo de diferencia de electronegatividad. (N_2)

Ficha bibliográfica del texto o material

s/a. (s/f). Enlaces químicos. Publicada originalmente en: <http://genesis.uag.mx/edmedia/material/qino/T6.cfm> consultada el 13 de septiembre de 2020 en: https://portalacademico.ccb.unam.mx/materiales/prof/matdidac/sitpro/exp/quim/quim1/quimI_vall/Lectura_enlaces_A19.1.pdf

Sinopsis

Durante la lectura se desarrollan los conceptos de electrones de valencia, estructura atómica, modelo de enlace y formación de estructuras de Lewis. Durante la misma, los estudiantes tienen la oportunidad de poner a prueba lo que van aprendiendo a través de la solución de ejercicios.

Justificación

Más que ser un texto introductorio, o de comprensión básica, el texto profundiza en el uso de los modelos y de las propiedades periódicas para la construcción del concepto de enlace y su relación con las propiedades de las sustancias. Aunque es un texto con una orientación disciplinar, los estudiantes pueden obtener ventaja de este con la ayuda de su maestro y sus compañeros.

Sugerencia de actividad de aprendizaje

Momento de uso: Desarrollo (2 sesiones) / extraclase.

Forma de trabajo: Individual.

Instrucciones: antes de iniciar la lectura del texto haga las siguientes preguntas a sus alumnos: ¿Por qué una mancha de café se quita con agua, pero no con gasolina?, ¿qué se necesita para limpiar una mancha de aceite de un abrigo? y ¿puede electrocutarse una persona que cae en una alberca de agua

pura?, pídeles que expliquen sus respuestas.

La lectura del texto puede organizarse de la siguiente manera. Para la primera sesión:

Desde el inicio hasta “formación de enlaces covalentes”

Pida que del texto elaboren un resumen y construyan al menos tres preguntas sobre lo que no se haya entendido en el texto, en sus resúmenes es obligatorio que incluyan las propiedades características de los compuestos iónicos y covalentes, los elementos que forman estos compuestos, y la solución (así sea equivocada de los ejercicios propuestos).

Para la segunda sesión: la lectura se desarrolla desde “formación de enlaces covalentes” hasta el final del documento. Deben incluirse en su resumen: la explicación del enlace covalente, la aplicación de la regla del octeto a la construcción de estructuras de Lewis, El concepto de electronegatividad y su variación en la tabla periódica y la clasificación de los enlaces químicos con el modelo de la diferencia de electronegatividad. También deben incluirse los ejercicios resueltos y cinco preguntas con su probable respuesta de lo que no haya quedado claro.

Al término de la sesión revise las preguntas de los alumnos y en plenaria busquen las respuestas a las mismas con lo que han aprendido. Para cerrar la sesión, propóngales que revisen las respuestas que dieron a las preguntas iniciales en invítelos a modificarlas y si ellos lo consideran conveniente.



Enlaces Químicos

9.

<http://genesis.uag.mx/edmedia/material/qino/T6.cfm>

OBJETIVO.- Diferenciar los distintos tipos de enlace químico para establecer las propiedades de cada compuesto.

1. Generalidades de los enlaces químicos

Los enlaces químicos, son las fuerzas que mantienen unidos a los átomos. Cuando los átomos se enlazan entre sí, **ceden**, **aceptan** o **comparten electrones**. Son los **electrones de valencia** quienes determinan de que forma se unirá un átomo con otro y las características del enlace.

2. Regla del octeto

EL último grupo de la tabla periódica VIII A (18), que forma la familia de los gases nobles, son los elementos mas estables de la tabla periódica. Esto se deben a que tienen 8 electrones en su capa mas externa, excepto el Helio que tiene solo 2 electrones, que también se considera como una configuración estable.

*Los elementos al combinarse unos con otros, **aceptan**, **ceden** o **comparten electrones** con la finalidad de tener 8 electrones en su nivel más externo, esto es lo que se conoce como la **regla del octeto**.*

3. Enlace iónico

Características:

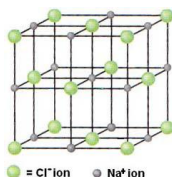
- Está formado por **metal + no metal**
- No forma moléculas verdaderas, existe como un agregado de **aniones** (iones negativos) y **cationes** (iones positivos).
- Los **metales ceden electrones** formando por **cationes**, los **no metales aceptan electrones** formando **aniones**.

Los compuestos formados por enlaces iónicos tienen las siguientes características:

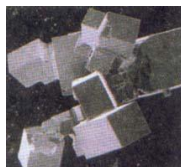
- Son sólidos a temperatura ambiente, ninguno es un líquido o un gas.
- Son buenos conductores del calor y la electricidad.
- Tienen altos puntos de fusión y ebullición.
- Son solubles en solventes polares como el agua



Disposición de los iones en un cristal de cloruro de sodio



Modelo de esferas y varillas de un cristal de cloruro de sodio. El diámetro de un ion cloruro es alrededor del doble del de un ion de sodio



El cloruro de sodio es un sólido cristalino de forma cubica que tiene un punto de fusión de 808 grados C

FORMACION DE ENLACES IONICOS

Ejemplo: NaF

Na: **metal** del grupo IA

F: **no metal** del grupo VIIA



ENLACE IONICO

Para explicar la formación del enlace escribimos la configuración electrónica de cada átomo:

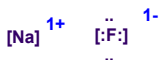
11Na: 1s , 2s , 2p , 3s **Electrones de valencia = 1**

9F: 1s , 2s , 2p **Electrones de valencia = 5 + 2 = 7**

Si el sodio pierde el electrón de valencia, su ultimo nivel seria el 2, y en este tendría 8 electrones de Na ¹⁺ valencia, formándose un catión (ion positivo)

El flúor con 7 electrones de valencia, solo necesita uno para completar su octeto, si acepta el electrón que F ¹⁻ cede el sodio se forma un anión (ion negativo)

La estructura de Lewis del compuesto se representa de la siguiente forma:



Otro ejemplo: MgBr₂

Mg: metal del grupo II A

Br: no metal del grupo VIIA

METAL + NO METAL

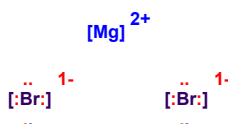


IONICO

No es necesario hacer la configuración sino solo la estructura de Lewis de cada elemento. Recuerda, el número de grupo en romano, para los representativos, indica el número de electrones de valencia. Nosotros solo usaremos compuestos formados por elementos representativos.



El átomo de Mg pierde sus 2 e- de valencia, y cada Br acepta uno para completar el octeto.



Los átomos de Br completan su octeto gracias a uno de los dos electrones cedidos por el Mg, el cual también queda con 8 electrones en un nivel más bajo.

Ejercicio: Dibuje la estructura de Lewis para los siguientes compuestos indicando el tipo de enlace. Escribe sobre la línea el nombre del compuesto.

a) K_2S _____

b) Cs_2O _____

c) CaI_2 _____

d) Al_2O_3 _____

4.- Enlace covalente

Características:

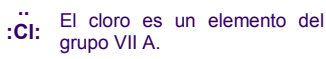
- Está basado en la **compartición de electrones**. Los átomos no ganan ni pierden electrones, **COMPARTEN**.
- Está formado por elementos **no metálicos**. Pueden ser 2 o 3 no metales.
- Pueden estar unidos por enlaces sencillos, dobles o triples, dependiendo de los elementos que se unen.

Las características de los compuestos unidos por enlaces covalentes son:

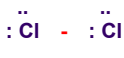
- Los compuestos covalentes pueden presentarse en cualquier estado de la materia: sólido, líquido o gaseoso.
- Son malos conductores del calor y la electricidad.
- Tienen punto de fusión y ebullición relativamente bajos.
- Son solubles en solventes polares como benceno, tetracloruro de carbono, etc., e insolubles en solventes polares como el agua.

FORMACION DE ENLACES COVALENTES

Ejemplificaremos, con elementos que existen como moléculas diatómicas. Cl_2 , cloro molecular, formado por dos átomos de cloro. Como es un no metal, sus átomos se unen por enlaces covalentes.



El átomo de cloro solo necesita un electrón para completar su octeto. Al unirse con otro átomo de cloro ambos comparten su electrón desapareado y se forma un enlace covalente sencillo entre ellos. Este enlace se representa mediante una línea entre los dos átomos.



La línea roja representa un enlace covalente sencillo, formado por dos electrones. Estos electrones se comparten por ambos átomos.

O_2 La molécula de oxígeno también es diatómica por ser del grupo VIA la estructura de Lewis del oxígeno es:



Al oxígeno le hacen falta dos electrones para completar su octeto. Cada oxígeno dispone de 6 electrones, con los cuales ambos deben tener al final ocho electrones. Por lo tanto el total de electrones disponibles es: $2 \times 6 e^- = 12 e^-$ menos dos que se ocupan para el enlace inicial restan 10. Estos 10 e^- se colocan por pares al azar entre los dos átomos.



Ahora revisamos cuantos electrones tiene cada átomo alrededor. Observamos que el oxígeno de la izquierda está completo, mientras que el derecho tiene solo seis. Entonces uno de los pares que rodean al oxígeno de la izquierda, se coloca entre los dos átomos formándose un doble enlace, y de esa forma los dos quedan con 8 electrones.



La molécula queda formada por un enlace covalente doble, 4 electrones enlazados y 4 pares de electrones no enlazados.

N₂ El nitrógeno, otra molécula diatómica, está ubicado en el grupo VA, por lo tanto cada nitrógeno aporta 5 electrones x 2 átomos = 10 electrones, menos los dos del enlace inicial son un total de 8 electrones.



Ambos átomos están rodeados por solo 6 electrones, por lo tanto, cada uno de ellos compartir uno de sus pares con el otro átomo formándose un triple enlace.



La molécula queda formada por un enlace covalente triple, 6 electrones enlazados y dos pares de electrones no enlazados.

En los compuestos covalentes formados por 3 elementos o más, siempre debe seleccionarse un átomo como central para hacer el esqueleto básico del compuesto. Para esto se siguen las siguientes reglas:

- *El átomo central es de un elemento unitario (o sea que solo hay un átomo de ese elemento en la molécula).*
- *El oxígeno y el hidrógeno no pueden ser átomos centrales.*
- *El carbono tiene preferencia como átomo central sobre el resto de los elementos.*
- *En compuestos que contengan oxígeno e hidrógeno en la misma molécula, el hidrógeno nunca se enlaza al átomo central, sino que se enlaza al oxígeno, por ser este el segundo elemento más electronegativo.*
- *El hidrógeno no cumple la regla del octeto, sino que es estable al lograr la configuración del gas noble helio con 2 electrones en su último nivel.*
- *Los átomos deben acomodarse de tal forma que la molécula resulte lo más simétrica posible*

Ejemplos:

CO₂ (dióxido de carbono)

TRES NO METALES



COVALENTE

Total de electrones de valencia:

C 1 x 4 electrones = 4 electrones

O 2 x 6 electrones = +12 electrones
16 electrones

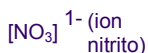
El carbono es el átomo central, por lo que se gastan cuatro electrones, y los 12 restantes se acomodan en pares al azar.



En esta estructura, ambos oxígenos han completado su octeto, pero el carbono no. Por lo tanto, un par no enlazante de cada oxígeno se coloca en el enlace C-O formándose dos enlaces dobles.



La estructura está formada por 2 enlaces covalentes dobles, 4 pares de electrones no enlazantes y 6 electrones enlazados.



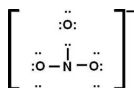
Electrones de valencia totales:

N 1 x 5 e⁻ = 5

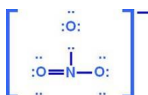
O 3 x 6 e⁻ = +18

= 23 e⁻ + 1 e⁻ (porque es un ion negativo) = 24 electrones

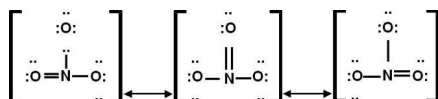
El nitrógeno es el átomo central, por lo que se ocupan tres enlaces covalentes para enlazar los oxígenos.



Al nitrógeno le falta un par de electrones, por lo que uno de los pares no enlazantes del oxígeno se desplaza para formar un doble enlace.



El doble enlace podría colocarse en tres posiciones distintas, pero la más correcta es la central por ser más simétrica.



Tipos de enlaces covalentes

Los enlaces covalentes se clasifican en:

- COVALENTES POLARES
- COVALENTES NO POLARES
- COVALENTES COORDINADO

Electronegatividad.- La electronegatividad es una medida de la tendencia que muestra un átomo de un enlace covalente, a atraer hacia sí los electrones compartidos. Linus Pauling, fue el primer químico que desarrolle una escala numérica de electronegatividad. En su escala, se asigna al flúor, el elemento más electronegativo, el valor de 4. El oxígeno es el segundo, seguido del cloro y el nitrógeno.

A continuación se muestra los valores de electronegatividad de los elementos. Observe que no se reporta valor para los gases nobles por ser los elementos menos reactivos de la tabla periódica.

La electronegatividad se incrementa →

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIb	VIIIb			IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
1	H 2.1																	He
2	Li 1.0	Be 1.5											B 2.0	C 2.5	N 3.0	O 3.5	F 4.0	Ne
3	Na 0.9	Mg 1.2											Al 1.5	Si 1.8	P 2.1	S 2.5	Cl 3.4	Ar
ELEMENTOS DE TRANSICIÓN																		
4	K 0.8	Ca 1.0	Sc 1.3	Ti 1.3	V 1.6	Cr 1.6	Mn 1.5	Fe 1.8	Co 1.8	Ni 1.8	Cu 1.9	Zn 1.6	Ga 1.6	Ge 1.8	As 2.0	Se 2.4	Br 2.8	Kr
5	Rb 0.8	Sr 1.0	Y 1.2	Zr 1.2	Nb 1.6	Mo 1.8	Tc 1.9	Ru 2.2	Rh 2.2	Pd 2.2	Ag 1.9	Cd 1.7	In 1.7	Sn 1.8	Sb 1.9	Te 2.1	I 2.5	Xe
6	Cs 0.7	Ba 0.9	La 1.1	Hf 1.3	Ta 1.5	W 1.7	Re 1.9	Os 2.2	Ir 2.2	Pt 2.2	Au 2.4	Hg 1.9	Tl 1.8	Pb 1.8	Bi 1.9	Po 2.0	At 2.2	Rn

La diferencia en los valores de electronegatividad determina la polaridad de un enlace.

Cuando se enlazan dos átomos iguales, con la misma electronegatividad, la diferencia es cero, y el enlace es covalente no polar, ya que los electrones son atraídos por igual por ambos átomos.

El criterio que se sigue para determinar el tipo de enlace a partir de la diferencia de electronegatividad, en términos, generales es el siguiente:

Diferencia de electronegatividad	Tipos de enlace
Menor o igual a 0.4	Covalente no polar
De 0.5 a 1.7	Covalente polar
Mayor de 1.7	Iónico

Casi todos los compuestos contienen enlaces covalente polares; quedan comprendidos entre los extremos de lo covalente no polar y lo iónico puro.

Enlace iónico	Enlace covalente polar	Enlace covalente no polar
Se transfieren	Los electrones se comparten de manera desigual.	Los electrones se comparten por igual.
	←	CARÁCTER IÓNICO CRECIENTE

Por tanto, en el enlace covalente polar los electrones se comparten de manera desigual, lo cual da por resultado que un extremo de la molécula sea parcialmente positivo y el otro parcialmente negativo. Esto se indica con la letra griega delta (δ). Ejemplo: La molécula de HCl.

Átomos	H	Cl
Electronegatividad	2.2	3.0
Diferencia de electronegatividad	3.0 - 2.2 = 0.8 Diferencia entre 0.5 y 1.7, por lo tanto el enlace es covalente polar.	



El átomo mas electronegativo, en este caso el cloro, adquiere la carga parcial negativa, y el menos electronegativo, en este caso el hidrogeno la carga parcial positiva.



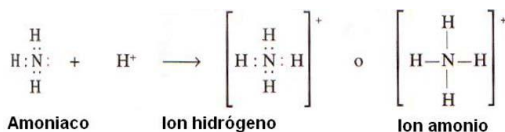
Ejercicio resuelto.- De acuerdo a la diferencia de electronegatividad, clasifique los siguientes enlaces como polar, no polar o iónico.

Enlace	Electronegatividades		Diferencia de electronegatividad	Tipo de enlace
N - O	3.0	3.5	$3.5 - 3.0 = 0.5$	Polar
Na - Cl	0.9	3.0	$3.0 - 0.9 = 2.1$	Iónico
H - P	2.1	2.1	$2.1 - 2.1 = 0$	No polar
As - O	2.0	3.5	$3.5 - 2.0 = 1.5$	Polar

Observe que al obtener la diferencia, siempre es el menor menos el mayor ya que no tendría sentido una diferencia de electronegatividad negativa.

Enlace covalente coordinado.

Se forma cuando el par electrónico compartido es puesto por el mismo átomo. Ejemplo:



Para el ion amonio $[\text{NH}_4]^+$ + Tres de los enlaces son covalentes típicos, pero en el cuarto enlace el par de electrones es proporcionado por el nitrógeno, por lo tanto, el enlace es covalente coordinado.

Un enlace covalente coordinado en nada se puede distinguir de un covalente típico, ya que las características del enlace no se modifican. Ejercicios propuestos de enlaces.-

- I. En los siguientes compuestos, identifique el tipo de enlace. Si el enlace es iónico señale el anión y el catión, si es covalente, conteste los siguientes incisos:

1) HNO_3 2) MgBr_2 3) H_3PO_4 4) HCN 5) Al_2O_3

- Numero total de electrones de valencia
- Numero de enlaces covalentes y tipo.
- Numero de electrones compartidos
- Numero de pares de electrones no enlazados

II. Complete la siguiente tabla.

Enlace	Electronegatividades			Cargas parciales (solo en covalentes polares)		Tipo de enlace
	-----	-----	Diferencia	d+	d-	
C - O						
Ca - F						
N - H						
Br - Br						

De las propiedades de las sustancias a las interacciones químicas

Aprendizaje (s)

11. Caracteriza a los enlaces entre dos átomos según el modelo de diferencia de electronegatividad. (N₂)
12. Predice algunas propiedades como solubilidad y conductividad eléctrica de compuestos desconocidos mediante el análisis de sus estructuras de Lewis con ayuda del modelo de enlace de Pauling. (N₃)
13. Relaciona mediante el trabajo experimental algunas propiedades de las sustancias y sus usos, con los modelos de enlace estudiados y muestra su responsabilidad ambiental al manejar y disponer adecuadamente los residuos obtenidos. (N₂)

Ficha bibliográfica del texto o material

Sosa, P., Hernández, G. Nieto, E. y Padilla, K. (2009). De las propiedades de las sustancias a las interacciones químicas. En

hacia el cambio conceptual en la enseñanza del enlace químico. Capítulo 3. Facultad de Química, UNAM. Pp. 57 a 90.

Sinopsis

La enseñanza de las características de las sustancias se ha hecho partiendo de los modelos que las explican. En el camino, se ha perdido de vista a las sustancias mismas. Por lo que es importante no perder el foco, se deben de partir de los eventos en el mundo para comprender los alcances de los modelos. Así, los autores van hilando el entramado sobre las propiedades de las sustancias.

Justificación

La lectura es al mismo tiempo una fuente de información y una secuencia de aprendizaje que atiende favorablemente los contenidos en torno a los que se construyen los aprendizajes 11 y 12; y sirve también como referencia para una posible actividad experimental para el aprendizaje 13.

Sugerencia de actividad de aprendizaje

Momento de uso: Desarrollo (al menos 3 sesiones).

Forma de trabajo: Parejas / extraclase.

Instrucciones:

Forme parejas de alumnos, pero evite que quede algún

alumno sin compañero, indique a las parejas que la lectura se llevará a cabo y se revisará a lo largo de tres sesiones. Durante cada sesión, de al menos 10 minutos para que los alumnos elaboren cinco preguntas y sus respuestas a diferentes secciones del texto que se hayan leído. Una sugerencia para la distribución posible del texto es:

Para la primera sesión: de la página 1 hasta “modelemos las interacciones” (página 69 del texto original).

Para la segunda sesión: desde “modelemos las interacciones” hasta “modelo de interacciones metálicas” (página 78 en el texto original).

Tercera sesión: desde “El modelo de la reacción química” hasta antes de comenzar “comentarios finales” (página 89 en el original).

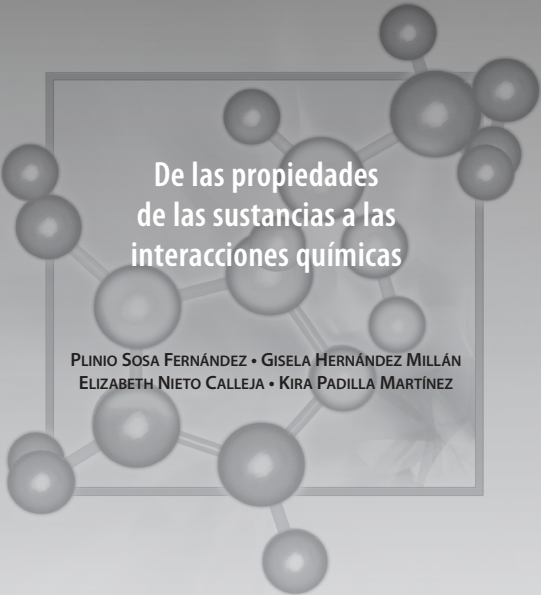
De las preguntas que elaboren, deben incluirse de forma obligatoria las siguientes:

¿Qué modelos de enlace hay y como se identifican estos?

¿Qué materiales hay y como son sus propiedades?

¿Cómo se relaciona el modelo de enlace con los materiales?

En la última sesión organice una competencia a modo de torneo entre todas las parejas utilizando sus preguntas y respuestas.



**De las propiedades
de las sustancias a las
interacciones químicas**

**PLINIO SOSA FERNÁNDEZ • GISELA HERNÁNDEZ MILLÁN
ELIZABETH NIETO CALLEJA • KIRA PADILLA MARTÍNEZ**

**C
A
P
Í
T
U
L
O

3**

ÍNDICE DE CAPÍTULO

1. Nuestro mundo
2. ¿De qué están hechas las cosas?
3. El modelo de la reacción química
4. El tetraedro de las sustancias
5. Estados físicos de los materiales
6. Interacciones químicas en las mezclas
7. Comentarios finales
8. Referencias





INTRODUCCIÓN

En este capítulo haremos una nueva propuesta para enseñanza y comprensión del enlace químico. Estamos concientes de que esta propuesta novedosa no se encontrará en la mayoría de los libros de texto; sin embargo, creemos que implicará una mejora en el proceso de enseñanza-aprendizaje de este tema. Es importante aclarar que esta propuesta está dirigida tanto a estudiantes de bachillerato como a estudiantes que cursen Química en los primeros semestres de cualquier carrera científica (ya sea Química, Biología o Física). Otro punto importante es que la propuesta mostrada en este capítulo se basa en una estrategia elaborada por Plinio Sosa y que se encuentra en su libro de texto (Sosa, 2007).

La secuencia de esta propuesta conduce a entender las interacciones entre los átomos a partir de las propiedades macroscópicas de las sustancias. Así pues, empezamos haciendo un análisis de algunas propiedades como temperatura de fusión o solubilidad para comprender qué tipo de interacción explicaría estas propiedades. Algo novedoso de esta propuesta es la introducción de los "tetraedros de las sustancias". Estos tetraedros se basan en los triángulos de tipo de enlace (Spencer *et al*, 2000)¹, pero en tres dimensiones y haciendo una clasificación un poco más detallada de las sustancias, ya que separamos a las sustancias covalentes en reticulares y moleculares, cosa que no es incluida en los triángulos de tipo de enlace. Esta nueva clasificación permite hacer una mejor relación entre las sustancias y el tipo de interacción electrostática que presentan los átomos que las forman. Así pues, esperamos que esta propuesta le sirva al lector para mejorar su comprensión del enlace químico y su relación con las propiedades macroscópicas de las sustancias.

¹ Revisar también el Capítulo 4 de esta obra.

1. NUESTRO MUNDO

Vivimos en un mundo lleno de materiales con las propiedades más diversas: superconductores, metales “con memoria”, plásticos biodegradables, polímeros con múltiples usos, etcétera. Podría decirse que ahora es posible diseñar materiales con las características deseadas. La gran mayoría de los materiales están constituidos por mezclas de sustancias que a su vez tienen muy diversas propiedades: pueden ser cristalinas, amorfas, frágiles, solubles en agua, flexibles, rígidas, conductoras de la electricidad, aislantes, etcétera. ¿A qué se debe esa diversidad de propiedades? Para contestar a esta pregunta analizaremos, en primer lugar, las características que presentan algunas de las sustancias más comunes en un laboratorio de Química.

Para ello fijaremos nuestra atención en tres propiedades: la temperatura de fusión, la solubilidad en agua y la conductividad eléctrica. Empecemos con la temperatura de fusión:

Analiza la siguiente tabla y comenta las diferencias y similitudes que encuentres entre las sustancias que se muestran:

TABLA 1 TEMPERATURAS DE FUSIÓN DE ALGUNAS SUSTANCIAS

	Sustancia	Temperatura de fusión, °C
1	Cloruro de sodio	800
2	Azufre	119
3	Oro	1,060
4	Diamante	>3823
5	Nitrato de potasio	333
6	Glucosa	185
7	Cobre	1,084.15
8	Dióxido de silicio	1713
9	Platino	1768
10	Fenol	43
11	Carbonato de sodio	851
12	Yodo	111.7
13	Naftaleno	80
14	Sulfato de cobre pentahidratado	650 (se descompone)
15	Yoduro de potasio	677
16	Carburo de silicio	Sublima a 2,700
17	para-diclorobenceno	Aproximadamente 50
18	Plata	970

Como puedes observar hay algunas sustancias cuya temperatura de fusión es relativamente alta. Sin embargo no es posible clasificarlas sólo por esta propiedad, es necesario considerar otros parámetros como la solubilidad en agua o si conducen o no la corriente eléctrica.

*¿Por qué algunas sustancias tienen temperaturas de fusión muy altas y otras no?
¿De qué dependerá?*²

CLASIFIQUEMOS LAS SUSTANCIAS

La tabla 2 muestra cuáles de las sustancias con alta temperatura de fusión, además conducen la corriente eléctrica en estado sólido o en disolución.

En la tabla 3 se presentan las sustancias con baja temperatura de fusión y se observa que ninguna conduce la corriente en estado sólido y que la glucosa, que es bastante soluble en agua, no conduce la corriente en disolución acuosa.

Analiza los datos presentados en las tablas 2 y 3. ¿Qué similitudes o diferencias encuentras? ¿Por qué crees que estas sustancias tengan propiedades tan diferentes? ¿Cómo podrías explicarlo?

TABLA 2. ALGUNAS PROPIEDADES DE SUSTANCIAS CON TEMPERATURA DE FUSIÓN ELEVADA.

Sustancia	Temperatura de fusión (°C)	¿Conduce la corriente en estado sólido?	¿Es soluble en agua?	Conduce en disolución acuosa
Cloruro de sodio	800	No	Sí	Sí
Oro	1,060	Sí	No	—
Diamante	> 3,823	No	No	—
Cobre	1,084.15	Sí	No	—
Nitrato de potasio	333	No	Sí	Sí
Dióxido de silicio	1,713	No	No	—
Platino	1,768	Sí	No	—
Carbonato de sodio	851	No	Sí	Sí
Sulfato de cobre pentahidratado	650 (se descompone)	No	Sí	Sí
Yoduro de potasio	677	No	Sí	Sí
Carburo de silicio	Sublima a 2,700	No	No	—
Plata	970	Sí	No	—

El cuadro No. 1 muestra una primera clasificación de estas sustancias, de acuerdo con las propiedades mencionadas.

² Al respecto, véanse en el Capítulo 2, las respuestas a la pregunta 9 del cuestionario de diagnóstico (Apéndice A) emitidas por alumnos de licenciatura.

³ Estas conductividades se refieren a las que se pueden medir en un laboratorio escolar ordinario. Véase la nota pertinente en el Capítulo 4 de esta obra (Nota 5, página 119).

TABLA 3. ALGUNAS SUSTANCIAS CON TEMPERATURA DE FUSIÓN BAJA (MENOR A 300°C)

Sustancia	Temperatura de fusión (°C)	¿Conduce la corriente en estado sólido?	¿Es soluble en agua?	Conduce en disolución acuosa
Azufre	119	No	No	No
Glucosa	185	No	Sí	No
Fenol	43	No	Sí	No
Naftaleno	80	No	No	No
para-diclorobenceno	Aprox. 50	No	No	No

2. ¿DE QUÉ ESTÁN HECHAS LAS COSAS?

Todos los objetos, los cuerpos y los seres que existen, están hechos de diversos materiales. Los *materiales*, a su vez, pueden estar formados por uno o varios constituyentes llamados sustancias. Las sustancias consisten de pequeñas partículas llamadas *iones*, *moléculas* o *átomos*. Éstas, a su vez, poseen una naturaleza eléctrica: partes positivas (los núcleos) y partes negativas (los electrones).

Los materiales, entonces, son todas las sustancias y mezclas de sustancias de que están hechos los objetos, los seres y los cuerpos. Un determinado material puede estar constituido por una o por varias sustancias.

Las sustancias, por tanto, son materiales de aspecto homogéneo que constan de un solo constituyente. Cada sustancia posee un conjunto de propiedades específicas que la distingue de las demás sustancias.

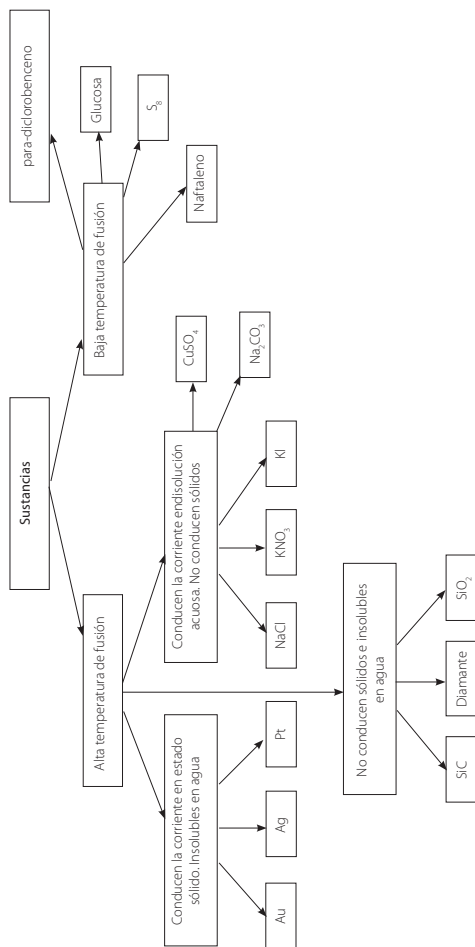
Las propiedades macroscópicas de las sustancias son consecuencia de la estructura interna y de las interacciones eléctricas de sus partículas. Actualmente, se tienen registradas más de 34 millones de sustancias⁴.

¿CÓMO CLASIFICAMOS A LAS SUSTANCIAS?... MODELOS DE CLASIFICACIÓN.

Existen diversas formas de clasificar a las sustancias. Por ejemplo, por su color, por su textura, por su estado físico, por sus propiedades químicas o por cualquier otro criterio que se nos ocurra. Como dijimos previamente, nosotros las clasificaremos según sus propiedades eléctricas, su temperatura de fusión y su solubilidad en agua. Esta clasificación es útil porque guarda una relación directa con el tipo de estructura de las sustancias: partículas independientes o enormes entramados donde las partículas están interconectadas. Ahora vamos a dar respuesta a las preguntas 1, 2 y 3, es decir, como analizamos propiedades eléctricas, temperaturas de fusión y solubilidades, vamos a hacer la siguiente clasificación en la cual

⁴ <http://www.cas.org/cgi-bin/regreport.pl>

CUADRO NO. 1. PRIMERA CLASIFICACIÓN DE LAS SUSTANCIAS DE LA TABLA 3



tendremos cuatro categorías o modelos que dependen de estas propiedades: Sustancias metálicas (los metales), sustancias iónicas (las sales), sustancias covalentes reticulares (las cerámicas) y sustancias no reticulares (las sustancias moleculares y atómicas).

Sustancias Metálicas (M).

Como puedes observar en el diagrama 2, este tipo de sustancias son las que conocemos como metales. Éstos conducen la electricidad en estado sólido y cuando se encuentran fundidas. No son solubles en agua y presentan altas temperaturas de fusión. Además, tienen alta densidad, son dúctiles y maleables, son duros, opacos y brillantes. Y son sólidos a temperatura ambiente. Por otra parte, son sustancias que estructuralmente están constituidas por enormes entramados de tamaño indefinido llamados *redes metálicas*. La estructura de la red consiste en un número muy grande de núcleos positivos (cationes) interactuando eléctricamente con un número, también muy grande, de electrones. Los núcleos ocupan posiciones fijas en un arreglo geométrico perfectamente ordenado pero “sumergidos” en la región donde se encuentran los electrones.

NO TODAS LAS SUSTANCIAS METÁLICAS SON SÓLIDAS. EL MERCURIO, POR EJEMPLO, ES LÍQUIDO EN CONDICIONES AMBIENTALES.

No es fácil describir matemáticamente esta estructura en la que hay un sinnúmero de cargas y un sinnúmero de interacciones. Sin embargo, los científicos han encontrado una manera de simplificar la descripción mediante un modelo matemático simple al que le han dado, precisamente, el nombre de *modelo del mar de electrones*⁵.

LAS ALEACIONES SON MATERIALES METÁLICOS QUE CONTIENEN VARIAS SUSTANCIAS. POR EJEMPLO, EL LATÓN, EL BRONCE, LAS AMALGAMAS.

En la **Figura 1**, se puede apreciar una imagen del modelo de mar de electrones. Las letras (el símbolo químico del oro) representan la parte positiva de la estructura. Cada símbolo se refiere al core (llamaremos *core* al núcleo protones y neutrones rodeados por los electrones internos, del átomo (“core significa *núcleo*, *centro*, en inglés”). Los símbolos de la tabla periódica se refieren tanto al átomo de ese elemento como al elemento mismo.

La región sombreada representa la parte negativa de la estructura, es decir, la zona donde se mueven los electrones más externos. Como se puede apreciar, las interacciones no son de un solo electrón con un solo núcleo, sino... ¡de todos con todos! Esto es exactamente lo que se quiere resaltar con el modelo del “mar de electrones”. Algunos ejemplos de sus-

⁵ Conviene revisar en el Capítulo 2 de esta obra, las ideas previas de los estudiantes vinculadas con una comprensión deficiente del modelo del mar de electrones.

tancias metálicas son: sodio, Na, mercurio, Hg, uranio, U, plomo, Pb, etc. Por definición, los otros 3 tipos de sustancias (iónicas, covalentes reticulares y no reticulares) se consideran no metálicas.

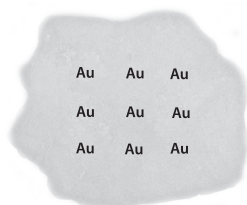


Figura 1. Modelo del mar de electrones para representar la estructura de una sustancia metálica. El área gris representa el mar de electrones móvil que rodea a los iones de oro.

Ahora, formen equipos de trabajo y realicen la siguiente actividad: De las propiedades mencionadas previamente para los metales elijan dos de ellas y traten de explicarlas utilizando el modelo de mar de electrones.

Sustancias iónicas (I)

Las sustancias conocidas como iónicas son sólidos que conducen la electricidad cuando se encuentran fundidas y en disolución acuosa, es decir en su estado natural (sólido) prácticamente no la conducen. Presentan temperaturas de fusión altas (mayores de 400°C). La mayoría de ellas son solubles en agua. Las sustancias que coloquialmente conocemos como sales son un ejemplo de sustancias iónicas.

Estructuralmente están constituidas por enormes entramados de tamaño variable llamados *redes iónicas*. La estructura de la red consiste en un número muy grande de iones de carga opuesta (aniones y cationes) interactuando eléctricamente. Así pues, este modelo de interacción de iones se conoce como modelo de enlace iónico.

La **Figura 2**, exhibe una representación de este tipo de estructuras. Las esferas grandes representan a los iones negativos (aniones) y las pequeñas a los iones positivos (cationes)⁶. Algunos ejemplos típicos de estas sustancias iónicas son: cloruro de sodio, NaCl, nitrato de amonio, NH_4NO_3 , etc. Por definición, las otras 3 categorías (metálicas, covalentes reticulares y covalentes no reticulares) son sistemas covalentes, es decir, no iónicos.

⁶ Los cationes suelen ser pequeños porque les faltan electrones y los aniones grandes porque les sobran.

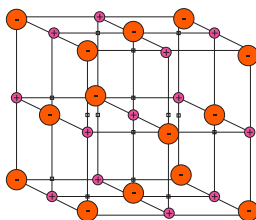


Figura 2. Representación de la estructura corpuscular de una sustancia iónica.

NO TODAS LAS SUSTANCIAS IÓNICAS SON SOLUBLES EN AGUA. LOS SULFUROS, LOS ÓXIDOS, LOS HIDRÓXIDOS Y LOS CARBONATOS —ENTRE OTROS— SUELEN SER INSOLUBLES EN AGUA.

¿Qué otras sustancias iónicas conoces? Describe sus propiedades físicas, ahora con ayuda del modelo de enlace iónico trata de dar una explicación a estas propiedades.

Sustancias Covalentes Reticulares (CR).

Las sustancias que entran en el modelo covalente reticular son sólidos que no conducen la electricidad ni en estado líquido, ni en estado sólido. Tienen temperaturas de fusión muy elevadas (más de 400 °C). Estructuralmente están constituidas por enormes entramados de tamaño indefinido llamados *redes covalentes*. La estructura de la red consiste en un número muy grande de núcleos y electrones conectados entre sí mediante una compleja cadena de interacciones eléctricas entre 2 núcleos y un par de electrones. Unos ejemplos típicos son: diamante (C), cuarzo (SiO_2), etc.

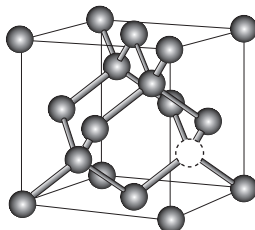


Figura 3. Representación de la estructura de una red covalente.

Sustancias No Reticulares (NR).

Las sustancias no reticulares son las conocidas como moleculares y atómicas, por ello es que se presentan en los tres diferentes estados de agregación; sin embargo, tienen algunas características que podemos llamar similares entre ellas. Por ejemplo, no conducen la electricidad ni en estado líquido, ni en estado sólido. La gran mayoría son insolubles en agua (los líquidos son inmiscibles). Tienen bajas temperaturas de fusión (menos de 400 °C). Estructuralmente están formadas por átomos o moléculas estables interactuando —si acaso— muy débilmente entre sí.

Al presentarse en diferentes estados de agregación sólidos, líquidos y gases, la interacción entre partículas cambia dependiendo, precisamente de esta característica. Por ejemplo, para los gases la interacción entre las partículas es prácticamente nula. Para fines prácticos se trata de partículas independientes.

En las sustancias líquidas, la interacción entre partículas ya es significativa, lo cual hace que estén muy cerca unas de otras aunque todavía con mucho movimiento debido a sus altas velocidades.

Las sustancias sólidas de esta categoría también consisten de redes, pero con la diferencia de que los puntos reticulares son ocupados por moléculas y no por iones. Y la fuerza con que interactúa una molécula con la otra es mucho más débil que la interacción que existe entre los átomos que forman la molécula.

POR DEFINICIÓN, LAS OTRAS 3 CATEGORÍAS (METÁLICAS, IÓNICAS Y COVALENTES RETICULARES) SON SISTEMAS RETICULARES.

La categoría de no reticular contiene dos subcategorías: las *sustancias moleculares* y las *sustancias atómicas*. En la primera, se agrupan aquellas sustancias que consisten de moléculas sueltas. La mayoría de las sustancias a las que se hace alusión en las aulas y laboratorios escolares pertenecen a esta subcategoría. En la segunda, sólo hay seis sustancias: los gases nobles; helio (He), neón (Ne), argón (Ar), kriptón (Kr), xenón (Xe) y radón (Rn). En las condiciones de presión y temperatura de la superficie terrestre, son las únicas sustancias que consisten de átomos sueltos.

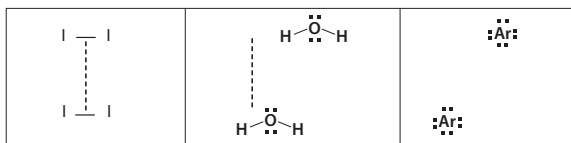
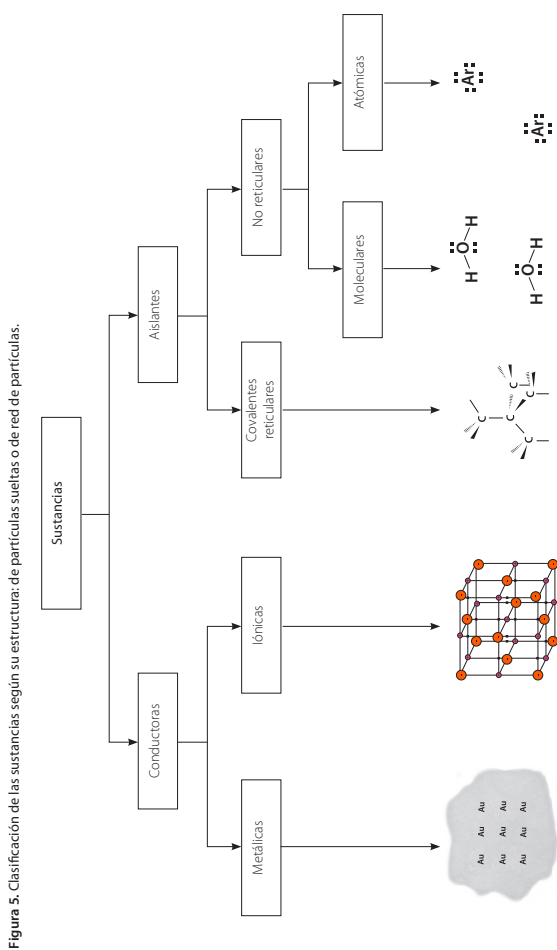


Figura 4 Representación de la estructura de “partículas sueltas” en las sustancias no reticulares. Aquí se presentan tres ejemplos: el yodo (sólido), el agua (líquida) y el argón (gaseoso). Nota, las representaciones no son a escala.



Pero, ¿qué hace que las sustancias no reticulares tengan tan diferentes estados de agregación y que la temperatura de fusión de sus sólidos sea tan baja? En realidad, estas propiedades se pueden explicar con el modelo de interacciones electrostáticas de Van der Waals que ocurren entre las moléculas. Estas interacciones son débiles, en contraste con las interacciones que existen entre los átomos que forman las moléculas que son muy fuertes. Ejemplos de sustancias no reticulares son el yodo (I_2), el dióxido de carbono (CO_2).

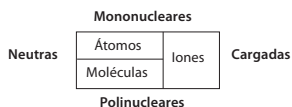
En la figura 5 se presenta la clasificación de las sustancias según su estructura, esto es, las que se encuentran en redes y las no reticulares.

MODELEMOS LAS INTERACCIONES...

Las interacciones electrostáticas a través de las cuales están enlazados los átomos en una molécula o en una red son debidas a atracciones entre cargas opuestas que pueden ser más o menos marcadas dependiendo del tipo de interacción. Una forma de explicar estas diferencias es a través de un modelo de interacción que se conoce como electronegatividad⁷. La electronegatividad de los átomos únicamente puede ser determinada cuando se encuentran interaccionando con otro átomo. Y lo que se dice es que cuando un átomo es más electronegativo entonces atrae hacia sí, con más fuerza, el par de electrones que comparte con el otro átomo. Y qué tan fuerte o débilmente sean atraídos estos electrones, es lo que hace que podamos hacer una clasificación de las sustancias en términos del tipo de interacción.

a) De átomos a iones...

Normalmente las sustancias están formadas por una gran cantidad de partículas, en este caso si el número de cargas positivas y de cargas negativas es el mismo, la partícula será neutra (*átomos* o *moléculas*). Si hay más cargas de unas que de otras, la partícula quedará cargada (*iones*). Así, las partículas de importancia química pueden ser **iones** (partículas cargadas mono o polinucleares), **moléculas** (partículas polinucleares neutras) o **átomos** (partículas mononucleares neutras):



⁷ Véase el Capítulo 4 de esta obra.

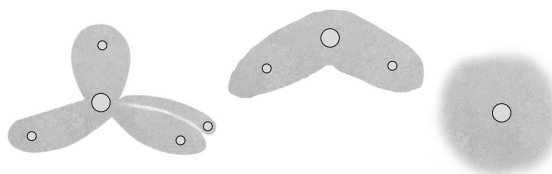


Figura 6. Forma de algunas partículas químicas: ion amonio, NH_4^+ , molécula de agua, H_2O y átomo de Ne. Conviene aclarar que estos esquemas no están a escala.

En la Figura 6 se muestra la forma de algunas partículas químicas: el ion amonio, NH_4^+ , la molécula de agua, H_2O , y el átomo de neón, Ne. Las pequeñas esferas negras representan a la parte positiva (los núcleos) mientras que la zona sombreada representa la parte negativa (la región o *dominio* donde se encuentran los electrones puesto que, de éstos, no se conoce ni su forma ni su tamaño).

b) Polaridad

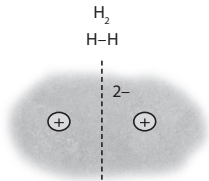
Muchas moléculas a pesar de ser neutras presentan unas zonas más negativas y otras más positivas. Es decir, según nuestro modelo poseen polos eléctricos y, por lo tanto, se les denomina *moléculas polares*. Explicamos estos polos eléctricos basándonos en las diferencias en electronegatividad que presentan los átomos, por ejemplo en la molécula de agua el oxígeno es más electronegativo que el hidrógeno y esta diferencia de electronegatividad hace que la carga negativa se concentre más en el oxígeno que en el hidrógeno, a este fenómeno se le conoce como polaridad.

En la Figura 7, se muestra la estructura interna de una molécula de hidrógeno, H_2 , la cual no presenta polaridad. Se trata de dos núcleos inmersos en el dominio de dos electrones de enlace. Y es el resultado de la interacción eléctrica entre los dos núcleos (cada uno con carga $1+$) y el dominio electrónico (con carga $2-$).

Como se puede observar, la zona donde se mueven los electrones (el dominio electrónico) es perfectamente simétrica. Esto es así porque los dos núcleos son idénticos (ambos son núcleos de hidrógeno). Quiere decir que los electrones están siendo atraídos por ambos núcleos en la misma magnitud. Si dividiéramos la molécula exactamente por la mitad, la carga del dominio electrónico ($2-$) estaría distribuida en forma perfectamente equitativa: $1-$ en cada lado. Por lo tanto, la carga neta en cada lado sería exactamente igual a cero.

Fórmula molecular
Representación de Lewis

Estructura interna
de las moléculas de
hidrógeno



Carga del núcleo izquierdo	1+	1+	Carga del núcleo derecho
Carga de la parte del dominio que queda del lado izquierdo	1-	1-	Carga de la parte del dominio que queda del lado derecho
Carga neta del lado izquierdo	0	0	Carga neta del lado derecho

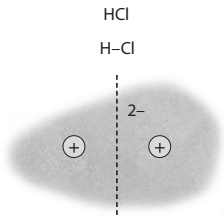
Figura 7. Cuando en un enlace, los núcleos son idénticos, la carga eléctrica neta en sus extremos es igual a cero.

En cambio, cuando los núcleos son distintos, el dominio electrónico se deforma hacia el elemento que más atrae a los electrones (hacia el más *electronegativo*). Es lo que ocurre en la molécula del cloruro de hidrógeno (Figura 8). Como se ve, el dominio no tiene una forma simétrica sino que está distorsionado hacia el *núcleo* del cloro.

Al dividir la molécula exactamente por la mitad, se encuentra que la carga del dominio electrónico (2-) está distribuida así: -0.83 del lado del hidrógeno y -1.17 del lado del cloro⁸. Por lo tanto, la carga neta del lado del hidrógeno es + 0.17 y del lado del cloro, -0.17. Es decir, la molécula de cloruro de hidrógeno tiene polos eléctricos: uno, positivo, del lado del hidrógeno y otro, negativo, del lado del cloro.

Fórmula molecular
Representación de Lewis

Estructura interna
de la molécula de
cloruro de hidrógeno



Carga del núcleo de hidrógeno	+1	+1	Carga del core de cloro
Carga de la parte del dominio que queda del lado del hidrógeno	-0.83	-1.17	Carga de la parte del dominio que queda del lado del cloro
Carga neta del lado izquierdo	+0.17	-0.17	Carga neta del lado derecho

Figura 8. Cuando en un enlace, uno de los núcleos atrae los electrones con más intensidad que el otro, se genera un polo eléctrico positivo y otro negativo.

⁸ Esta distribución de carga se calculó a partir del valor experimental para el momento dipolo del enlace H-Cl reportado en la literatura.

Las moléculas como la de hidrógeno, que no tienen polos eléctricos, se llaman moléculas no polares. Las moléculas, como las del cloruro de hidrógeno, que sí tienen polos eléctricos se llaman moléculas polares.

c) Interacciones químicas

Debido a su naturaleza eléctrica, las partículas químicas (iones, moléculas y átomos) se atraen y se repelen entre sí. Pueden interactuar unos iones con otros, iones con moléculas polares. Moléculas polares con otras moléculas polares. Y, para colmo, si están suficientemente cerca de sus vecinas, también las moléculas no polares pueden interactuar con otras partículas químicas: con iones, con moléculas polares y hasta con otras no polares. Este tipo de interacciones químicas permiten explicar por qué una sustancia se disuelve en otra.

Además de la interacción eléctrica entre partículas vecinas también hay una interacción eléctrica entre los núcleos y los electrones adentro de cada partícula. Al conjunto de estas interacciones eléctricas entre partículas vecinas y adentro de cada partícula, les vamos a llamar de manera genérica: *interacciones químicas*. Básicamente, las propiedades físicas y químicas de las sustancias son consecuencia de estas interacciones químicas⁹.

Como es costumbre en la ciencia, la explicación y la descripción de los fenómenos se realiza a través de pequeños modelos teóricos que se refieren, en realidad, a casos ideales o límite¹⁰. Del mismo modo, toda la abrumadora complejidad de las interacciones químicas se puede describir a partir de cuatro modelos límite: el de las *interacciones dipolares*, el del *enlace iónico*, el del *enlace covalente* y el del *enlace metálico*.

Los dos primeros (el de las interacciones dipolares y el del enlace iónico) corresponden a interacciones entre partículas. Como es de esperarse, para describir estas interacciones con la mayor precisión se requiere la mecánica cuántica. Pero, por fortuna, también es posible describirlas no con tanta precisión, pero sí satisfactoriamente, con el modelo electrostático de la física clásica.

En cambio, los otros dos (el modelo del enlace covalente y el modelo del enlace metálico) que corresponden a interacciones núcleo electrónicas, sólo se pueden describir adecuadamente mediante la mecánica cuántica.

El **modelo de las interacciones dipolares** describe la interacción de las partículas neutras con sus vecinas (iones, moléculas o átomos). Estas últimas, las dipolares, son mucho más débiles que los enlaces (covalente, metálico e iónico).

El **modelo de las interacciones iónicas** describe la interacción entre iones vecinos.

⁹ Véanse en el Capítulo 2 las dificultades que tienen los estudiantes para distinguir interacciones inter e intramoleculares y las correspondientes a la relación entre éstas y las propiedades físicas de las sustancias.

¹⁰ Por ejemplo, las ecuaciones que explican la caída libre de un cuerpo corresponden al caso límite o ideal en el que no hay nada de aire que obstaculice el movimiento del cuerpo. Sin embargo, a partir de este modelo matemático, se pueden explicar los casos reales y concretos.

El **modelo de las interacciones covalentes** describe la interacción entre unos cuantos núcleos (o *cores*) y unos cuantos electrones dentro de una partícula, aunque el caso más común es específicamente el de dos núcleos (o *cores*) y dos electrones.

El **modelo de las interacciones metálicas** describe la interacción entre muchísimos *cores* y muchísimos electrones.

d) Interacciones partícula-partícula

Modelo de Interacciones dipolares

Este modelo explica la interacción eléctrica entre partículas neutras con otras partículas vecinas que, como ya se mencionó, pueden ser iones, moléculas o átomos. Este tipo de interacciones son más débiles que las que se presentan en los modelos de interacciones covalentes, iónicas y metálicas. Para su descripción, los iones pueden modelarse como puntos cargados y las moléculas como dipolos eléctricos. Son las responsables de propiedades físicas, como los estados físicos, y la solubilidad de las sustancias.

Muchas de las propiedades macroscópicas de las sustancias (el color, el estado físico, la solubilidad, etc.) dependen de las interacciones entre partículas vecinas. Las posibles interacciones entre partículas son:

Tipo de interacción	Partículas que interactúan
No polar–no polar	Moléculas no polares con moléculas no polares
Polar–no polar	Moléculas polares con moléculas no polares
Polar–polar	Moléculas polares con moléculas polares
Ion–no polar	Iones con moléculas no polares
Ion–polar	Iones con moléculas polares

Modelo de interacciones iónicas

Representa a la interacción eléctrica entre un número muy grande de iones de carga opuesta. Se puede describir adecuadamente suponiendo que los iones son simplemente puntos con carga (sin masa ni volumen ni forma). Para una mejor descripción, se requeriría de la Mecánica Cuántica. Se puede representar como una red tridimensional donde todos los iones interactúan simultáneamente (figura 9):

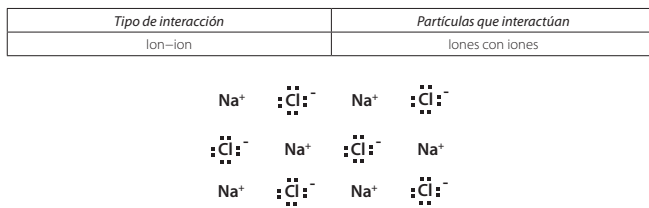


Figura 9. Representación esquemática de una red iónica (en este caso el cloruro de sodio).

e) Modelo de interacciones núcleo-electrónicas

Representa a las interacciones eléctricas que se dan entre núcleos y electrones. Hay dos casos límite:

- cuando dos electrones se encuentran localizados entre dos núcleos o cores (o sea, una interacción “dos a dos”) y
- cuando todos los electrones se encuentran deslocalizados en una red de cores (o sea, interactuando todos contra todos).

El primer caso —la interacción “dos a dos”— se describe mediante el modelo del enlace covalente. El segundo mediante el modelo del enlace metálico.

Modelo de interacciones covalentes

Representa a la interacción eléctrica de dos electrones y dos núcleos (o dos cores). El resultado es del que ya hemos hablado anteriormente: dos cores inmersos en el dominio de un par de electrones:



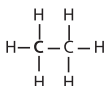
Otra forma de representación¹¹ es con letras y rayas a la que se denomina como notación de Lewis ya que él fue quien la propuso.



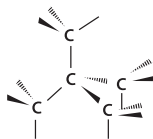
¹¹ Representación que, como ya se mencionó en el Capítulo 2, causa frecuentemente confusión en nuestros estudiantes.

Es decir, las letras representan a los *cores* (los núcleos junto con los electrones internos) de los elementos X y Y, mientras que la raya representa al par de electrones. En este caso se dice que X y Y están *enlazados* porque *comparten* un par electrones¹². La palabra *covalente*, acuñada en el contexto de la química, es la que se acostumbra usar para decir que se comparten electrones.

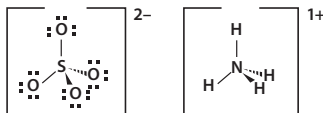
Como ya se ha señalado, cualquier partícula polinuclear se puede representar como una cadena de interacciones covalentes. Así, las moléculas de etano se representan de la siguiente forma:



Y la red covalente del diamante se representa así:



Hay interacciones covalentes en todas las sustancias iónicas que consistan de partículas polinucleares. Es decir, también hay interacciones covalentes en algunas sustancias iónicas, aquéllas que consistan de iones polinucleares. Por mencionar un ejemplo tomemos el caso del sulfato de amonio, $(\text{NH}_4)^+\text{SO}_4^{2-}$. Evidentemente consiste de una red de iones sulfato, SO_4^{2-} , e iones amonio, NH_4^+ , interactuando entre sí, pero los *cores* de cada ion se mantienen unidos mediante interacciones covalentes:



Modelo de interacciones metálicas

Es la interacción eléctrica de una cantidad enorme de *cores* y electrones. Para estudiar en detalle esta interacción es necesaria la Mecánica Cuántica. El resultado que proporciona

¹² Aunque, en realidad, son dos *cores* y dos electrones interactuando eléctricamente, todos con todos. Sin embargo, las atracciones predominan sobre las repulsiones y, por eso, permanecen los cuatro unidos.

esta elegante teoría es el de un número enorme de núcleos inmersos, no en el dominio de tan sólo un par de electrones, sino en el dominio del mismo inmenso número de electrones. A la representación de esta interacción se le suele dar el nombre de *modelo del mar de electrones*.

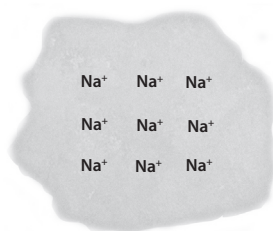


Figura 10. Representación esquemática de una red metálica (en este caso sodio).

En las interacciones metálicas también se comparten electrones. Sólo que ahora son muchos electrones compartidos por muchos *cores*. En este sentido, no hay una diferencia fundamental entre lo que llamamos interacción covalente y lo que denominamos interacciones metálicas. Lo que ocurre (interacción eléctrica entre *cores* y electrones) es exactamente lo mismo siendo el número de *cores* y electrones involucrados lo único que cambia, **figura 10**.

En esta situación de muchos electrones interactuando con muchos *cores*, los electrones están unidos más débilmente que en el caso “dos a dos” de la interacción covalente. Ésa es la razón por la que los sistemas metálicos son buenos conductores de la electricidad; ¡es fácil mover los electrones porque la atracción que ejercen los *cores* sobre ellos es muy débil!

Estrictamente no hay ninguna diferencia fundamental entre todos estos tipos de interacciones. Todas (covalente, metálica, iónica y dipolares) son simplemente interacciones eléctricas. Si acaso hay diferencia es en la magnitud de la interacción. *Las interacciones núcleo-electrón y las interacciones ion-ion son de magnitud similar, es decir son fuertes. En cambio, las interacciones dipolares son mucho más débiles*. Para dar cuenta de esta diferencia en magnitud, a las primeras les vamos a dar el nombre de **enlaces** y a las segundas les vamos a dejar el nombre de *interacciones*.

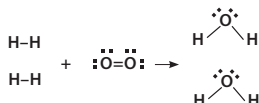
Dicho de otro modo, sólo por convención, vamos a usar la palabra **enlace** para referirnos a las interacciones eléctricas fuertes y la palabra *interacción* para las interacciones eléctricas débiles (obviamente en el contexto de la escala de las partículas químicas).

En este sentido lo que denominamos como **enlace químico** es una interacción eléctrica fuerte que se da entre núcleos y electrones (**modelos covalente y metálico**) o entre iones vecinos (**modelo iónico**).

3. EL MODELO DE LA REACCIÓN QUÍMICA

Además de todas las interacciones que hemos revisado, existen interacciones aún más fuertes que las que se dan en los enlaces. Cuando la interacción eléctrica entre dos partículas es muy pero muy fuerte se produce una reacción química. Entre los “jaloneos” y los “empujones” eléctricos (atracciones y repulsiones), los *cores* y los electrones se reacomodan de tal manera que se forman otras partículas más estables que las originales. En la jerga de los químicos se dice que “se rompen los enlaces de los reactivos y se forman los enlaces de los productos”. Lo que es cierto es que las partículas de los reactivos se separan y las partículas de los productos se forman.

Por ejemplo, si ponemos en contacto las sustancias hidrógeno y oxígeno, al chocar unas partículas con otras, la interacción eléctrica entre ellas es tan grande que se intercambian *cores* y electrones hasta formar partículas más estables (las de agua).



Como se puede observar, al final del proceso (*después* de la reacción), ya no hay moléculas de hidrógeno ni de oxígeno: sólo moléculas de agua. Sin embargo, en estas últimas hay núcleos de oxígeno (uno) y también núcleos de hidrógeno (dos). Los *cores* y los electrones han encontrado un mejor arreglo: ¡el de las moléculas de agua!

5. EL TETRAEDRO DE LAS SUSTANCIAS

La clasificación que hemos manejado –que consta de 4 categorías independientes– es simplemente un modelo útil para sistematizar el comportamiento de tantas sustancias. La propuesta consiste en clasificar a las diferentes sustancias según sus propiedades y la estructura resultante de la interacción entre sus partículas. Sin embargo, en realidad las fronteras entre las 4 categorías no son fáciles de delimitar. Más bien se trata de un espectro continuo, donde dichas categorías son, en realidad, los casos límite o ideales. Es decir, la mayoría de las sustancias no son 100 % iónicas, 100 % metálicas, 100 % covalentes reticulares ni 100 % no reticulares sino alguna combinación de dichas categorías ideales¹³. Esto se puede ilustrar con un tetraedro donde las categorías definidas ocupan los vértices (Figura 11).

¹³ Las respuestas mayoritarias a la pregunta 10 del cuestionario de diagnóstico (Apéndice A) muestran la gran dificultad que tienen los alumnos para comprender la naturaleza de esta propuesta. Véase el Capítulo 2.

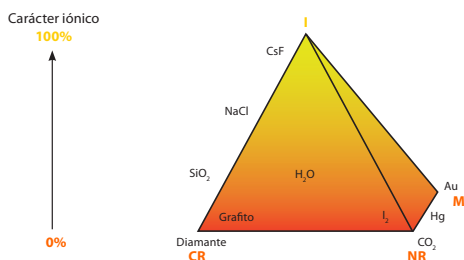


Figura 11. Clasificación de sustancias con respecto a las cuatro categorías límite. En esta orientación, se evidencia la dicotomía *iónico-no iónico*.

Ahora bien, la forma adecuada para construir estos tetraedros es a través de las electronegatividades. Por ejemplo, el fluoruro de cesio, CsF , —la sustancia más iónica conocida— no es 100 % iónica: tan sólo muestra un 90 % de carácter iónico. El cloruro de sodio, NaCl , la sustancia iónica por excelencia tampoco lo es al 100 %: tiene únicamente un 60 % de carácter iónico. El dióxido de silicio, SiO_2 , no se considera una sustancia iónica puesto que tiene menos del 50 % de carácter iónico. Sin embargo, está lejos del 0 % iónico. En el tetraedro de la figura, estas tres sustancias se localizarían en la arista *iónico-covalente reticular*.

No existen las sustancias 100 % iónicas

El diamante, C , (100 % covalente reticular), el dióxido de carbono, CO_2 , (100 % no reticular) y el oro (100 % metálico), estos sí, estarían exactamente en los vértices que les corresponden.

Pero, ¿dónde ubicamos al grafito? Éste es un caso interesante. Claramente es una sustancia covalente reticular, sin embargo, ya tiene cierto carácter metálico puesto que conduce la electricidad en estado sólido. Esto lo ubicaría —no en el mero vértice— sino en la arista *covalente reticular-metálico*.

Todavía más interesantes son el yodo, I_2 , el mercurio, Hg , y el agua, H_2O .

Las moléculas dinucleares del yodo no están totalmente aisladas sino que están interactuando unas con otras. Es decir tiene cierto carácter reticular. Esta interacción hace que la interacción entre núcleos y electrones se parezca cada vez más al modelo del “mar de electrones” con el que acostumbramos a explicar la estructura de las sustancias metálicas. Y, en efecto, a la vista, el yodo forma unas laminillas con un claro aspecto metálico. O sea, también tiene cierto carácter metálico. Por lo tanto se encontraría en la base del tetraedro o, mejor dicho, en la cara que forman los vértices *no reticular-metálico-covalente reticular*.

El agua ya muestra un apreciable carácter iónico. En el lenguaje de la química se dice que es una sustancia polar. Una parte de las moléculas de agua tienen un poquito de carga negativa. Y en otra parte de ellas hay el mismo poquito pero, ahora, de carga positiva. En otras palabras las moléculas de agua tienen un poco de carácter iónico. Esos pequeños polos con carga eléctrica hacen que las moléculas vecinas se atraigan entre sí empezando a formar lo que sería una red incipiente. Se podría decir que el agua es la sustancia iónica que quiso ser... ¡pero no pudo! En la figura 11, el agua se localizaría en la cara correspondiente a los vértices *no reticular-iónico-covalente reticular*.

El mercurio es una sustancia indiscutiblemente metálica. Sin embargo, es un líquido en condiciones ambientales (intervalos de presión y temperatura cercanos a los que imperan en las cercanías de la superficie terrestre). Es decir, los átomos de mercurio, aunque interactuando fuertemente entre sí, ya no ocupan posiciones fijas en una red. El mercurio muestra una estructura poco reticular. Se podría decir que es una sustancia metálica que lo está dejando de ser. Sus propiedades son intermedias entre lo metálico y lo no reticular. En la figura 11, se encuentra en el vértice que une lo metálico con lo no reticular.

Como se ve, el porcentaje de carácter iónico se representa con una línea que va desde la base del tetraedro –la cara opuesta, en realidad– (0 % de carácter iónico) hasta el vértice *iónico* (100 % de carácter iónico). En general, se consideran sustancias iónicas aquellas con más de 50 % de carácter iónico. Así, las sustancias iónicas se localizarían en la parte superior del tetraedro mostrado en la Figura 11.

Del mismo modo, las *sustancias no iónicas* se ubican en la parte inferior del tetraedro. Esto quiere decir que ni las covalentes reticulares, ni las no reticulares ni las metálicas son sustancias iónicas. O, dicho de otro modo, que en la dicotomía *iónico-no iónico*, tres de las cuatro categorías se refieren a sustancias cuya estructura no consiste de iones interactuando.

Girando el tetraedro podemos distinguir otras dos dicotomías: metálico-no metálico (figura 12) y reticular-no reticular (figura 13).

De manera similar, en el caso de la dicotomía metálico-no metálico, se puede saber el carácter metálico de una determinada sustancia a partir de la altura a la que se encuentra dicha sustancia en el tetraedro de la figura 12. Así, en la parte superior del tetraedro se encuentran las sustancias metálicas y en la parte de abajo, las no metálicas. Aquí también se cumple que lo no metálico comprende tres de las cuatro categorías de sustancias: las no reticulares, las iónicas y las covalentes reticulares. En efecto, ninguno de estos tipos de sustancias muestra la estructura del modelo de “mar de electrones” de las sustancias metálicas.

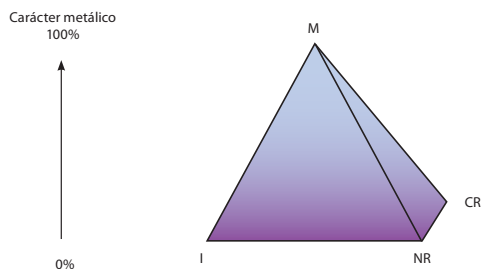


Figura 12. Dicotomía metálico-no metálico.

Igualmente, el porcentaje de carácter no reticular de una sustancia se puede conocer a partir de en qué parte del tetraedro se encuentra dicha sustancia. Para ello, habría que girarlo y colocarlo como se aprecia en la Figura 13. Si la sustancia aparece en la parte de arriba, quiere decir que no es una sustancia de tipo reticular. O sea, las partículas que la integran no forman una red de tamaño indefinido sino que, en realidad, son partículas sueltas, prácticamente independientes unas de las otras.

Es fácil ver que las sustancias metálicas, las iónicas y las covalentes reticulares son, las tres, reticulares. Es decir, las sustancias de estas tres categorías forman redes: las primeras, redes metálicas, las segundas, iónicas y, las últimas, redes covalentes.

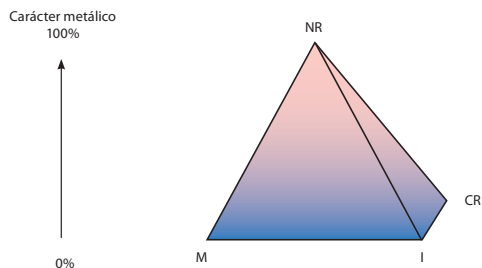


Figura 13. Dicotomía no reticular-reticular

6. ESTADOS FÍSICOS DE LOS MATERIALES

a) De distancias y velocidades... Los estados de agregación.

A simple vista podemos distinguir tres tipos de materiales: los sólidos, los líquidos y los gases. Los materiales pueden estar en distintos estados físicos dependiendo de las condiciones de presión y temperatura. En las condiciones imperantes en la superficie de nuestro planeta sólo hay tres estados físicos que son, precisamente, sólido, líquido y gaseoso. Sin embargo, a muy altas temperaturas, como las que hay en el interior de las estrellas, el estado físico de la materia es otro totalmente diferente. No hay (ni puede haber) partículas químicas puesto que la temperatura es tan alta que los electrones y los núcleos se separan.

Los gases no tienen un volumen fijo, tampoco tienen una forma definida (se adaptan a la forma del recipiente que los contiene) ni se aprecia una superficie que los delimite (¿dónde empieza y dónde acaba un gas? Nadie lo sabe). Los líquidos tampoco tienen una forma propia (adoptan la del recipiente que los contiene) pero sí tienen un volumen fijo y se distingue claramente la superficie que los delimita. Los sólidos tienen forma propia, un volumen fijo y se ve claramente dónde empiezan y dónde acaban (ver Tabla 4).

TABLA 4 PROPIEDADES MACROSCÓPICAS DE LOS TRES ESTADOS DE LOS MATERIALES.

	Forma propia	Volumen fijo	Superficie delimitante
Gaseoso	No	No	No
Líquido	No	Sí	Sí
Sólido	Sí	Sí	Sí

El estado físico de un determinado material depende fundamentalmente de la magnitud, el alcance y el tipo de las interacciones químicas que ocurran.

- Cuando están fuera del alcance de las interacciones químicas, las partículas se mueven de manera independiente a grandes velocidades. Es el caso del estado gaseoso.

En cambio, cuando las partículas se encuentran al alcance de las interacciones químicas existen dos posibilidades:

- Que las partículas estén lo más cerca posible entre sí, pero que aún se sigan moviendo a gran velocidad (estado líquido) o
- Que estén también lo más cerca posible entre sí, pero fijas en una misma posición sin movimiento de traslación (estado sólido).

En otras palabras,

EN EL ESTADO GASEOSO, las partículas se encuentran muy lejos entre sí y se mueven a gran velocidad;
EN ESTADO LÍQUIDO, se encuentran muy cerca pero moviéndose a gran velocidad y
EN EL ESTADO SÓLIDO, se encuentran también muy cerca, pero se mueven (vibran tan sólo) muy lentamente.

Para fines prácticos, en el estado gaseoso, las partículas no interactúan entre sí. La mayor parte del tiempo, están muy lejos unas de otras y, por lo tanto, fuera del alcance de las interacciones químicas. Sin embargo, de vez en cuando se encuentran, mejor dicho: chocan, colisionan entre sí. Esto quiere decir, que durante el rato que dura la colisión quedan a la distancia de alcance de las interacciones químicas. Pero, en realidad, van tan rápido las partículas que se siguen de largo casi sin afectarse. Se dice que, en estado gaseoso, las partículas son independientes.

En el estado líquido, las partículas están a la distancia de alcance de las interacciones, pero se mueven a tal velocidad que no se quedan quietas en posiciones fijas. Más bien, si una se mueve arrastra a todas las demás tras de sí, es decir, están en constante movimiento. En el estado líquido, las partículas no son independientes: se atraen fuertemente unas a otras.

En el estado sólido, las partículas también están al alcance de la atracción de las partículas vecinas pero su velocidad es tan baja que se quedan apenas vibrando alrededor de ciertas posiciones fijas (los nodos de la red). En estado sólido, las partículas no son nada independientes: ni siquiera pueden fluir.

b) Mucha velocidad, mucha distancia, poca interacción

En esta sección, se van a describir algunos ejemplos de sustancias que son gaseosas, a la presión y temperatura que imperan en las inmediaciones de la superficie terrestre, en términos de las interacciones que se dan entre sus partículas.

Dióxido de carbono, nitrógeno, y helio

Estas tres sustancias son gaseosas a temperatura y presión ambientales. El nitrógeno consiste de moléculas formadas por dos núcleos del mismo tipo: N_2 . Su representación de Lewis es:



El dióxido de carbono consiste de moléculas formadas por tres núcleos: CO_2 . Su representación de Lewis es:



El helio consiste de átomos estables: He. Su representación de Lewis es:



Las tres son sustancias no reticulares y no polares, por lo tanto, la única interacción posible entre ellas sería la de dipolo instantáneo–dipolo inducido. Estas fuerzas son muy débiles y de muy poco alcance. A la temperatura y presión imperantes en la superficie terrestre, sus partículas se encuentran muy lejos unas de otras y además moviéndose a gran velocidad. En estas condiciones, se puede decir que prácticamente no interactúan entre sí. Para lograr alguna interacción entre ellas, sería necesario aplicar presión (para acercarlas), bajar la temperatura (para que disminuyan su velocidad).

De hecho, bajando suficientemente la temperatura, es posible tener estas sustancias en otros estados físicos diferentes del gaseoso como se puede apreciar en la **Tabla 5**.

TABLA 5. TEMPERATURAS DE TRANSICIÓN DE UN ESTADO FÍSICO A OTRO PARA DIÓXIDO DE CARBONO, NITRÓGENO Y HELIO A LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA¹⁴.

Transición	Sublimación	Ebullición	Fusión
	sólido $\rightleftharpoons$ gas	líquido $\rightleftharpoons$ gas	sólido $\rightleftharpoons$ líquido
Dióxido de carbono	-78 °C		
Nitrógeno		-195.8 °C	-210 °C
Helio		-268.9 °C	-272.2 °C

Así, los puntos de sublimación, de ebullición y de fusión son las temperaturas a las que ocurren las transiciones entre un estado físico y otro.

De la **Tabla 5** se desprende que, a presión atmosférica, el dióxido de carbono es sólido en el intervalo de temperaturas que va desde -273.16 °C^{15} hasta -78 °C y gaseoso de -78 °C en adelante. Es decir, que a presión ambiental no se puede tener dióxido de carbono en estado líquido.

El nitrógeno, en cambio, es sólido de $-273.16\text{ a }-210\text{ °C}$, líquido de $-210\text{ a }-195.8\text{ °C}$ y gaseoso de -195.8 °C en adelante.

¹⁴ Presión que ejerce la atmósfera sobre la superficie terrestre que varía dependiendo de la altura con respecto al nivel del mar.

¹⁵ -273.16 °C (cero absoluto en la escala de Kelvin) corresponde a una situación en la que las partículas tendrían una energía cinética exactamente igual a cero, es decir, que tendrían que estar en reposo absoluto. En este sentido, se trata de un límite de la naturaleza puesto que nada puede tener una energía cinética menor a cero y, por tanto, nada puede tener una temperatura menor a -273.16 °C .

El helio es sólido en un intervalo de temperatura muy pequeño (apenas 1 grado): de -273.16 a -272 °C. Es líquido en un intervalo de temperaturas también muy pequeño: de -272 a -269 °C (tres grados). En cambio, es gaseoso de -269 °C en adelante.

El hecho de que las sustancias no polares puedan estar en estado líquido y en estado sólido se puede explicar suponiendo que existen interacciones muy débiles dipolo instantáneo-dipolo inducido. Los dipolos eléctricos que se forman eventualmente (durante apenas unos instantes) en una partícula inducen dipolos eléctricos en las partículas vecinas (si es que están lo suficientemente cerca). Son estas fuerzas eléctricas las que pueden mantener juntas a las partículas de las sustancias no polares en el estado líquido y en el estado sólido.

Si no hubiera dipolos instantáneos, todas las sustancias no polares serían gaseosas en todo el intervalo de temperaturas. Si las partículas químicas no tuvieran una naturaleza eléctrica con partes positivas y negativas... ¡todas las sustancias serían gaseosas y el estado gaseoso sería el único estado físico en la naturaleza!

Las diferencias de puntos de sublimación, de ebullición y de fusión entre estas tres sustancias se explican por el tamaño. Dado que la magnitud de las interacciones dipolo instantáneo-dipolo inducido dependen de la superficie molecular, son más intensas en el dióxido de carbono –que es el más grande–; un poco menos en el nitrógeno que es de menor tamaño; y mucho más débiles para el helio que todavía es más pequeño.

Todas las sustancias gaseosas a presión y temperatura ambientales son sustancias no reticulares. Pero... ¡cuidado! No todas las sustancias no reticulares son gaseosas. El agua es líquida y el azúcar (la sacarosa) es sólida.

c) Distancia media, velocidad media, mayor interacción...

Agua, hexano y mercurio

Aquí vamos a describir tres casos interesantes: el de una sustancia polar (el agua), el de una sustancia metálica (el mercurio) y el de una sustancia no polar (el hexano).

El agua es líquida en condiciones ambientales. Consiste de moléculas polares interactuando fuertemente entre sí. La interacción principal es de tipo dipolo permanente-dipolo permanente¹⁶. Si sus moléculas no fueran polares, el agua sería gaseosa como es el caso de otras sustancias (metano, amoníaco y cloruro de hidrógeno) cuyas moléculas tienen una masa y un tamaño similar a las de aquélla. Por la polaridad de sus moléculas, el agua

¹⁶ De hecho, la interacción es de tal naturaleza que hay un poco de compartición electrónica entre el oxígeno de una molécula y el hidrógeno de otra, algo así como un enlace covalente incipiente. A este caso particular de interacción se le conoce como *punto de hidrógeno* y se da siempre que hay hidrógenos unidos a elementos muy electronegativos como oxígeno, nitrógeno, flúor y otros. Para describirlo adecuadamente se requiere de la mecánica cuántica.

tiene propiedades intermedias entre las de las sustancias moleculares ideales y las de las sustancias iónicas ideales. De hecho, en el agua líquida se puede apreciar una estructura reticular incipiente. Podría decirse que el agua es... “la sustancia reticular que quiso ser pero no pudo”.

El mercurio también es líquido en condiciones ambientales de temperatura y presión. Sin embargo, se trata de una sustancia metálica que empieza a mostrar ciertas características no reticulares (“la sustancia atómica que quiso ser pero no pudo”). Sigue habiendo una fuerte interacción entre todos los núcleos y todos los electrones –como es el caso en cualquier sustancia metálica– pero los núcleos no guardan posiciones fijas sino que también se mueven incesantemente arrastrando tras de sí a todos los demás. Una curiosidad es lo que ocurre con el galio: puede ser sólido en algunos países y líquido en otros. O peor aún, en el mismo país puede ser líquido en unas ocasiones y sólido en otras. Esto es así porque su punto de fusión es de 30 °C.

Otro caso es el del hexano, C_6H_{14} , (una de las sustancias que constituyen la gasolina). Se trata de una sustancia no polar. Sin embargo, sus moléculas son suficientemente grandes como para que las interacciones dipolo instantáneo–dipolo inducido sean ya de consideración. Estas pequeñas fuerzas, multiplicadas por la respetable superficie de estas moléculas, dan como resultado una interacción tal que las moléculas de hexano, aunque moviéndose a gran velocidad, se mantienen fuertemente atraídas entre sí.

d) Poca velocidad, poca distancia, interacción fuerte

Finalmente, en este apartado se van a describir cuatro casos de sustancias que son sólidas a presión y temperaturas ambientales: un metal, una sal, un sólido covalente y una sustancia molecular.

Oro

El oro, al igual que la mayoría de las sustancias metálicas, es sólido debido a la estructura reticular que se produce como resultado de la interacción de un gran número de electrones deslocalizados con un gran número de *cores* que quedan fijos en ciertos puntos en el espacio. Los puntos de fusión y de ebullición dan una idea de la magnitud de las interacciones en la red metálica: punto de fusión de 1,064 °C y un punto de ebullición de 2,970 °C.

Cloruro de sodio

El cloruro de sodio es el principal constituyente de la sal de mesa. Se trata de una sustancia iónica y es sólida en las condiciones ambientales debido a la enorme red iónica que se forma como resultado de la interacción eléctrica entre los iones Na^+ y los iones Cl^- . Estos iones

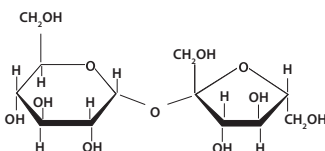
ocupan posiciones fijas en el espacio de las cuales no pueden trasladarse (sólo vibran). Tiene un punto de fusión de 801 °C y empieza a evaporarse a temperaturas ligeramente por encima de ésta.

Diamante

Como se indicó anteriormente, el diamante es una sustancia cuya estructura nanoscópica consiste en una red de cores de carbono unidos covalentemente en el patrón típico “dos a dos”, es decir, una cadena tridimensional de interacciones de dos electrones con dos cores. En estas circunstancias, los cores de carbono permanecen fijos, sólo vibrando, sin poder trasladarse hacia ningún otro lado, en ciertos puntos en el espacio. Su punto de fusión es ≈ 4000 °C.

Sacarosa

La sacarosa es el azúcar que usamos para endulzar nuestros alimentos. Es una sustancia indiscutiblemente molecular. Sin embargo es sólida, en primer lugar, porque posee varios enlaces polares O–H y, en segundo lugar, porque consiste de moléculas con una masa y un tamaño considerables. Su fórmula molecular es $C_{12}H_{22}O_{11}$ y su representación de Lewis es:



La sacarosa, a temperatura ambiente, forma una red tridimensional donde sus moléculas ocupan los nodos de la red. Sin embargo, la interacción con las vecinas es muy débil comparada con las que existen en las sustancias propiamente reticulares. Cuando se calienta a temperaturas superiores a 180 °C, la sacarosa se transforma en una sustancia amorfa, de color ámbar y consistencia espesa, parecida al jarabe, llamada caramelo.

Para que termines de entender la relación que hay entre las interacciones químicas y los estados físicos, te ofrecemos la siguiente analogía:

El Gran Rodeo. Una analogía para los estados físicos.

Se trata de una competencia tipo rodeo en la que cada jinete trata de lazar al mayor número de contrincantes posibles. Los jinetes (y su cabalgadura) representan a las partículas

químicas. Las reatas que utilizan para lazar representan las fuerzas de atracción entre las partículas.

En la primera etapa, la justa se realiza en una inmensa llanura. Los jinetes se encuentran en promedio, muy lejos unos de otros. Además, dada la extensión del terreno, alcanzan elevadas velocidades. Para fines prácticos, nunca están al alcance de la cuerda de ningún contrincante. Y, si eso llegara a suceder (que dos jinetes quedaran al alcance de sus cuerdas), pasarían tan rápido que no daría tiempo a lazarse. Esta situación sería parecida a la que ocurre entre las partículas en estado gaseoso.

En una segunda etapa, la competencia continúa en una cancha de polo. La distancia es mucho menor de tal modo que quedan a la distancia de alcance de la reatas y, prácticamente todos han sido lazados por algún contrincante. Sin embargo, los jinetes aún se mueven a gran velocidad. El resultado es que los jinetes pierden su independencia y ahora forman parte de un enorme conglomerado que se mueve caóticamente. Uno se mueve hacia un lado y jala a todos los demás detrás de él. Otro se mueve por allá y va todo el conjunto hacia ese otro lado. Si de repente, un jinete se saliera de la cancha, ahí irían todos detrás del primero. Todo el conjunto “fluiría” detrás del primero. Más o menos esto es parecido a lo que ocurre cuando se derrama un líquido de un vaso inclinado.

Finalmente, en una tercera etapa, la contienda se desarrolla en un pequeño toreo. En estas circunstancias, los jinetes permanecen en posiciones fijas sin poder trasladarse, amarrados unos a otros, sin otro movimiento más que el de brazos, piernas y patas que permite el terrible hacinamiento en el que se encuentran. Esta situación es similar a la vibración que experimentan las partículas confinadas en una posición fija de una sustancia que se encuentra en estado sólido.

Evidentemente, se trata tan sólo de una analogía puesto que las partículas químicas no son jinetes ni hay ninguna cuerda (ni nada material) que las enlace sino que lo que las mantiene unidas es la interacción eléctrica que se da entre ellas.

7. INTERACCIONES EN LAS MEZCLAS.

En esta sección se va a revisar qué interacciones ocurren entre las partículas de varias sustancias mezcladas. Para ello, se van a abordar ciertos ejemplos representativos.

a) Sal en agua

Cuando agregamos sal a nuestra sopa, parece como si los granitos de sal simplemente se esfumaran. Lo que realmente ocurre es que los iones Na^+ y Cl^- de la red cristalina y las moléculas polares del agua se atraen mutuamente dando como resultado la desintegración de la red. Cada ion es “secuestrado” y rodeado por millones de moléculas de agua. Los miles de trillones de iones que formaban el grano de sal se separan totalmente y cada uno queda

lejos, muy lejos de los demás rodeado por una enorme cantidad de moléculas de agua. Las moléculas de agua cercanas a los iones Na^+ , se encuentran con el oxígeno (polo negativo) orientado precisamente hacia los Na^+ (Figura 14). Del mismo modo, las moléculas de agua cercanas a los iones Cl^- , se orientan con los hidrógenos hacia el Cl^- (figura 15).

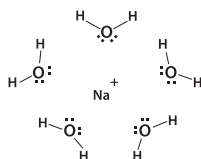


Figura 14. Interacción eléctrica entre las moléculas polares de agua y el ion sodio, Na^+ .

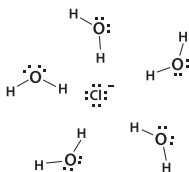


Figura 15. Interacción eléctrica entre las moléculas polares de agua y el ion cloruro, Cl^- .

Obviamente la interacción que ocurre en una mezcla de sal y agua es una de tipo ion–dipolo permanente. Nadie ocupa posiciones fijas. Iones y moléculas se mueven incesantemente arrastrándose unos a otros.

No todas las sustancias iónicas son solubles en agua. Depende de si las interacciones en la mezcla son mayores o menores que en el cristal. El carbonato de calcio, por ejemplo, no se disuelve en agua. La interacción con el agua no es suficiente para deshacer la red iónica.

b) Azúcar en agua, alcohol en agua, acetona en agua

El azúcar, el alcohol y la acetona son sustancias polares que contienen enlaces polarizados O–H o C=O. El agua también es polar. La interacción por tanto es dipolo permanente–dipolo permanente. Como regla general, “lo semejante disuelve a lo semejante”, o sea, polar disuelve a polar.

c) *Sal en hexano*

El cloruro de sodio prácticamente no se disuelve en hexano porque no son semejantes en polaridad. El cloruro de sodio es iónico (¡el colmo de la polaridad!) mientras que el hexano consiste de moléculas no polares. Sin embargo, lo poquísimo que se disuelve tiene que ser, forzosamente, una interacción ion-dipolo inducido. Los iones Na^+ y Cl^- polarizan las moléculas de hexano.

d) *Oxígeno en agua*

El oxígeno es una sustancia no polar. El agua, por el contrario, es una sustancia polar. Si tomáramos al pie de la letra la conseja de “semejante disuelve a lo semejante” llegaríamos a la conclusión errónea de que nada de oxígeno, en lo absoluto, se disuelve en agua. No es verdad, lo cierto es que sí se disuelve un poco, muy poco, de oxígeno. Esa pequeña cantidad de oxígeno que se disuelve en el agua es la que aprovechan los peces para respirar. La interacción es de tipo dipolo permanente-dipolo inducido. Es decir, las moléculas polares de agua inducen un dipolo en las moléculas no polares de oxígeno.

e) *Gasolina en aceite*

Es muy común que cuando algo se mancha de grasa, usemos gasolina para desmancharlo. Es porque las moléculas de las sustancias que constituyen a la gasolina (una mezcla de muchas sustancias) y las moléculas de aceite (o grasa) son no polares. En este caso, la interacción eléctrica es mínima puesto que se trata de interacciones dipolo instantáneo-dipolo inducido. No es la atracción eléctrica la única razón por la que se disuelven entre sí las sustancias no polares. Es más importante el hecho de que se están moviendo y, poco a poco, se van dispersando. Luego, no hay manera de que, de forma espontánea, se vuelvan a reagrupar, es decir, a separar en gasolina por un lado y aceite (o grasa), por el otro.

8. COMENTARIOS FINALES

Con todos estos antecedentes, hemos podido revisar que la estructura, estado de agregación de las sustancias y las propiedades físicas (como la temperatura de fusión y ebullición, así como su solubilidad en agua y la conductividad eléctrica) dependen del tipo de interacciones que tengan, entre ellas mismas y con otras sustancias distintas.

Sin embargo, una conclusión clara es que no es posible clasificar a las sustancias dentro de un tipo de “enlace”. Primero, porque lo que clasificamos como enlace iónico, covalente o metálico, en el fondo, son interacciones electrostáticas que se dan entre los átomos o iones que forman las sustancias.

La diferencia entre las redes y las sustancias moleculares es que estas últimas tienen una interacción débil entre ellas (interacciones intermoleculares) y las redes no.

Entonces cuando fundimos diferentes sólidos, en los moleculares se requiere una menor temperatura de fusión porque la interacción que se rompe es la débil (interacción dipolar) en cambio en las redes se está rompiendo una interacción extremadamente fuerte, tan fuerte como las interacciones intramoleculares de las sustancias no reticulares (enlace covalente). Lo que significa que nos costará la misma energía separar a los átomos tanto de las redes como de las sustancias no reticulares (o moleculares).

LECTURAS RECOMENDADAS

- Gillespie, R. J. (1994). *Atoms, Molecules, and Reactions: An Introduction to Chemistry*, New Jersey, USA: Prentice Hall.
- Jensen W. B. (1979). *The Lewis Acid-Base Concepts*: New York, USA: An Overview, Krieger Pub Co.
- Kind, V. (2004). Más allá de las apariencias. Ideas previas sobre conceptos básicos de química. México: Facultad de Química, UNAM-Editorial Santillana S. A. de C. V.
- Laing, M. (1993). A tetrahedron of bonding, *Education in Chemistry*, No. o Vol. 160-163.
- Sproul, G. D. (1993). Electronegativity and Bond Type. 1. Tripartite Separation, *Journal of Chemical Education*, Vol 70 No. 7, 531-534. (1994). Electronegativity and Bond Type. 2. Evaluation of Electronegativity Scales, *Journal of Physical Chemistry*, 98(No?), 6699-6703. (1994). Electronegativity and Bond Type. 3. Origins of Bond Type, *Journal of Physical Chemistry*, 98(No?), 13221-13224.
- Sosa, P. 1997. Bájate de mi nube electrónica, México: ADN Editores, S. A. de C. V
- Sosa, P. (1999). De palabras, de conceptos y de orden. *Educación Química*. 10(1), 57-60.
- Sosa, P. (2004). Química aritmética. Un primer paso hacia el cambio conceptual. *Educación Química*. 15(3), 248-255.
- Sosa, P. 2007. Conceptos base de la química. Libro de apoyo para bachillerato. México: CCH, UNAM.
- Spencer N. J., Bodner M. G., Rickard H. L. (2000). *Química Estructura y Dinámica*. México: CECSA. pp 220-224.

Fuentes

INSTITUCIONALES. DIDÁCTICAS Y DISCIPLINARIAS

FUENTES INSTITUCIONALES

CCH. (2020). Protocolo de equivalencias. En: https://www.cch.unam.mx/sites/default/files/Protocolo_Equivalencias.pdf

CCH. (2016). Química I y II. Programa de estudios. En: https://www.cch.unam.mx/sites/default/files/programas2016/QUIMICA_I_II_.pdf

CCH (1996). Plan de estudios actualizado. CCH. UNAM. En: <https://www.cch.unam.mx/sites/default/files/actualizacion2012/Plan1996.pdf> Consultado el 18 de julio de 2020.

CCH (2006). Sentido y Orientación de las áreas. CCH. UNAM. En: <https://www.cch.unam.mx/sites/default/files/actualizacion2012/Sentidoareas.pdf> Consultado el 18 de julio de 2020.

FUENTES DIDÁCTICAS

Acevedo, D, J.A. (2009) Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (II): una perspectiva. Rev. Eureka Enseñanza y Divulgación de las ciencias, 2009, 6(2), pp. 164-189. En: <http://rodin>.

uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/9917/Acevedo_2009b.pdf?sequence=1 Consultado el 19 de julio de 2017.

Ausbel, D., Novack, J. y Hanesian, H. (1983). Psicología educativa. Un punto de vista cognoscitivo. 2da. Ed. Trillas. México.

Chamizo, J. A. (2006) METL1. Documentos del Seminario de Investigación Educativa. Facultad de Química. UNAM

Chamizo, J. A. (2009) METL2. Documentos del Seminario de Investigación Educativa. Facultad de Química. UNAM

Díaz-Barriga, A. (2013). TIC en el trabajo del aula. Impacto en la planeación didáctica. Revista Iberoamericana de Educación Superior, IV(10),3-21. En: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2991/299128588003> consultado el 19 de Julio de 2020.

Díaz-Barriga, F. (2006) Enseñanza situada: vínculo entre la escuela y la vida. 1ª. ed. McGraw-Hill/Interamericana Editores, México. 191 pp.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Dr. Enrique Graue Wiechers
RECTOR

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas
SECRETARIO GENERAL

Dr. Alfredo Sánchez Castañeda
ABOGADO GENERAL

Dr. Luis Álvarez Icaza Longoria
SECRETARIO ADMINISTRATIVO

Dra. Patricia Dolores Dávila Aranda
SECRETARIA DE DESARROLLO INSTITUCIONAL

Lic. Raúl Arcenio Aguilar Tamayo
**SECRETARIO DE PREVENCIÓN
Y SEGURIDAD UNIVERSITARIA**

Mtro. Néstor Martínez Cristo
DIRECTOR GENERAL DE COMUNICACIÓN SOCIAL



ESCUELA NACIONAL COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

Dr. Benjamín Barajas Sánchez
DIRECTOR GENERAL

Mtra. Silvia Velasco Ruiz
SECRETARIA GENERAL

Lic. María Elena Juárez Sánchez
SECRETARIA ACADÉMICA

Lic. Rocío Carrillo Camargo
SECRETARIA ADMINISTRATIVA

Mtra. Patricia García Pavón
SECRETARIA DE SERVICIOS
DE APOYO AL APRENDIZAJE

Lic. Miguel Ortega del Valle
SECRETARIO DE PLANEACIÓN

Lic. Mayra Monsalvo Carmona
SECRETARIA ESTUDIANTEL

Lic. Gema Góngora Jaramillo
SECRETARIA DE PROGRAMAS INSTITUCIONALES

Lic. Héctor Baca Espinoza
SECRETARIO DE COMUNICACIÓN INSTITUCIONAL

Ing. Armando Rodríguez Arguijo
SECRETARIO DE INFORMÁTICA

