

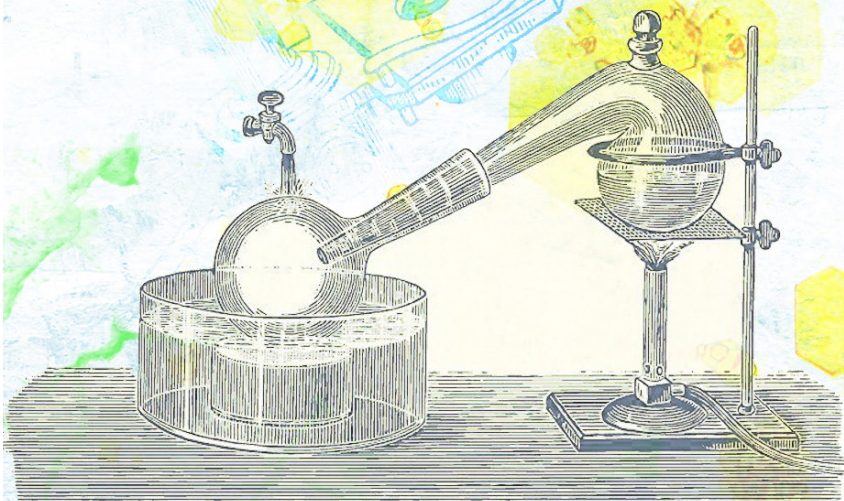


QUÍMICA III Y IV

Jorge Meinguer Ledesma
(Coordinador)

María del Consuelo Pérez Pérez
Carmela Crisóstomo Lucas

**Incorporación y análisis de textos
divulgativos para desarrollar
el pensamiento crítico**



ANTOLOGÍA

ANTOLOGÍA **QUÍMICA III - IV**

Incorporación y análisis de textos divulgativos
para desarrollar el pensamiento crítico
en las asignaturas de Química III y IV de la ENCCH

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES



ANTOLOGÍA

QUÍMICA III-IV

Incorporación y análisis de textos divulgativos
para desarrollar el pensamiento crítico
en las asignaturas de Química III y IV de la ENCCH

Jorge Meinguer Ledesma
(**Coordinador**)

María del Consuelo Pérez Pérez

Carmela Crisóstomo Lucas

Antología. Incorporación y análisis de textos divulgativos para desarrollar el pensamiento crítico en las asignaturas de Química III y IV de la ENCCH

Primera edición: Octubre de 2021.

D.R. © Jorge Meinguer Ledesma (Coordinador)

D.R. © María del Consuelo Pérez Pérez

D.R. © Carmela Crisóstomo Lucas

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

Diseño y formación de interiores: D.R. © Mercedes Olvera y Ma. Elena Pigenutt

ISBN: 978-607-30-5244-3

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	13
Justificación	17
Guía de usuario	21
I. ELEMENTOS TEÓRICOS	25
1.1 El pensamiento crítico en la educación científica	26
1.2 Interrelación entre la divulgación de la ciencia y la educación científica	37
1.3 El uso de textos de divulgación científica como herramienta para fomentar el pensamiento crítico	41
II. ESTRATEGIAS DE LECTURA CRÍTICA	45
Lectura 1: La química verde	46
Química III. Unidad 1.	
La química en México: factor de desarrollo	
Estrategia I. La química verde	
Presentación	

Texto: “La química verde”	49
Actividades de aprendizaje	53
Referencias consultadas	80

Lectura 2: Oro, plata y cobre 82

Química III. Unidad 2. De los minerales a los metales:	
procesos químicos, usos e importancia	
Estrategia II. Propiedades fisicoquímicas de los metales	
Presentación	
Texto: “Oro, plata y cobre”	85
Actividades de aprendizaje	89
Referencias consultadas	119

Lectura 3: La crisis de los fertilizantes 121

Química III. Unidad 3. Control de los procesos industriales	
en la fabricación de productos estratégicos para el país	
Estrategia III. Una aproximación	
a los procesos químicos: los fertilizantes	
Presentación	
Texto: “La crisis de los fertilizantes”	124
Actividades de aprendizaje	128
Referencias consultadas	155

Lectura 4: Fracking beneficios fugaces... ¿daños permanentes? 157

Química IV. Unidad 1. El petróleo, recurso natural y fuente	
de compuestos de carbono para la industria química	

Estrategia IV. Fracking, ¿una técnica eficiente o devastadora?

Presentación

Texto: "Fracking, beneficios fugaces... ¿daños permanentes?" 160

Actividades de aprendizaje 165

Referencias consultadas 197

Lectura 5: Los biocombustibles 200

Química IV. Unidad 2. El estudio de los polímeros
y su impacto en la actualidad

Estrategia V. ¿Son viables los biocombustibles?

Presentación

Texto: "Biocombustibles, el debate actual" 203

Actividades de aprendizaje 208

Referencias consultadas 239

III. INSTRUMENTOS PARA EVALUAR

EL PENSAMIENTO CRÍTICO 241

3.1 Rúbrica para evaluar el pensamiento crítico 242

3.2 Valoración del aprendizaje actitudinal 247

3.3 Evaluación de la argumentación en el ámbito escolar 250

IV. BIBLIOGRAFÍA 253

Presentación

La antología didáctica que se presenta es producto del trabajo colegiado de profesores de las áreas de Ciencias Experimentales y Talleres de Lenguaje y Comunicación, pertenecientes a la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades (ENCCH) plantel Sur, fue elaborada como parte de un proyecto Infocab (Iniciativa para Fortalecer la Carrera Académica en el Bachillerato) durante el ciclo escolar 2018-2019. Su propósito es proporcionar a los profesores que imparten las asignaturas de Química III y IV una compilación de estrategias educativas, basadas en la lectura, el análisis y la problematización de textos divulgativos, tendientes al desarrollo y fomento del pensamiento crítico en el alumnado. El diseño de las estrategias considera tanto los contenidos de los Programas de Estudio Actualizados de las asignaturas de Química III y IV como los fundamentos pedagógicos y los principios filosóficos del Colegio, por lo que esta antología ofrece un recorrido didáctico para el desarrollo del *aprender a aprender*, *aprender a hacer* y *aprender a ser*, al que se suma el aprender a convivir, propuesto por la Unesco (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura).

En su estructura, se ofrece una fundamentación teórica basada en el desarrollo del pensamiento crítico en la educación científica; la inclusión de cinco textos divulgativos que son el eje de las estrategias didácticas compiladas (materiales de lectura obtenidos de una editorial de divulgación científica de la UNAM, la revista *¿Cómo ves?*); una descripción minuciosa de las actividades sugeridas en su análisis, las cuales contemplan diversas rutas de experimentación; textos auxiliares que amplían o complementan la información abordada y actividades de cierre que vinculan al alumnado con la trascendencia y relevancia de lo estudiado. Posteriormente, se presentan diversas herramientas de evaluación que consideran el trabajo individual, en pares y en pequeños grupos, con sugerencias de evaluación formativa y numérica para el docente. Para finalizar, se ofrece un listado amplio de referencias consultadas que pueden resultar útiles para quienes deseen indagar o profundizar más en el sustento teórico-pedagógico de esta antología.

Se espera que este material didáctico sea una fuente de consulta útil para los docentes interesados en el impulso del pensamiento crítico y el fomento de una enseñanza contextualizada de la química en la ENCCH. También que la aplicación de las estrategias contribuya a la formación y el desarrollo de diversas habilidades como la indagación, la argumentación y la participación informada en las aulas; todas ellas, aptitudes que hacen posible edificar

una formación integral en el estudiantado, finalidad distintiva del Modelo Educativo del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM.

Los autores agradecemos a la Dirección General de Asuntos de Personal Académico (DGAPA) de la UNAM por el financiamiento recibido para la elaboración del presente trabajo, enmarcado en el proyecto Infocab PB302219, así como a la maestra Estrella Burgos Ruiz, editora de la revista *¿Cómo ves?* y a la Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la UNAM, por las facilidades otorgadas para el acceso y uso de los textos divulgativos presentados. También agradecemos a la Dirección de la ENCCH plantel Sur por las facilidades otorgadas en la aplicación y pilotaje de algunas de las estrategias propuestas en este material didáctico.

Justificación

En el documento “Orientación y Sentido del Área de Ciencias Experimentales” (2006) de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades, se reconoce como objetivo esencial promover la comprensión de la ciencia como un elemento o parte integral de la cultura, es decir, como un bien intelectual que posibilita una comprensión del entorno y capacita al estudiantado para desenvolverse de la mejor manera. Asimismo, en los programas de estudio vigentes de las asignaturas de Química III y IV se señala que una tarea esencial de la labor docente es fomentar la interacción responsable y consciente entre la ciencia, la tecnología y la sociedad (ENCCH, 2016). En consecuencia, el impulso del pensamiento crítico y de una cultura científica se consideran aspectos relevantes porque capacitan al estudiantado en la resolución de problemas en el contexto de la vida cotidiana, permiten ofrecer explicaciones a fenómenos naturales, tecnológicos y sociales; adoptar actitudes responsables frente al desarrollo científico; así como participar activamente y con fundamento en la toma de decisiones (Meinguer, 2016).

De igual manera, en los Programas de estudio actualizados de las asignaturas de Química III y IV de la ENCCH (2016, p.12), se mencionan como propósitos generales en la enseñanza los siguientes:

El alumno:

- Resolverá problemas relacionados con la disciplina, basándose en los conocimientos y procedimientos de la química, y en el análisis de la información obtenida de fuentes documentales y experimentales.
- Desarrollará valores y actitudes, como el aprecio por los conocimientos químicos, el respeto a las ideas de otros, el gusto por el aprendizaje, la responsabilidad, la disciplina intelectual, la criticidad y la creatividad, a través del trabajo colectivo, con carácter científico, para contribuir a la formación de ciudadanos comprometidos con la sociedad y la naturaleza.
- Desarrollará la capacidad para analizar e interpretar información gráfica y escrita al elaborar diversas representaciones para describir e interpretar los fenómenos que se estudian.

Tomando en cuenta lo anterior, se puede constatar que existe una fuerte conexión entre el objetivo central de esta antología (el desarrollo del pensamiento crítico) con la visión pedagógica-disciplinar presente en los programas de estudio de Química III y IV de la institución; pues en estos se menciona como relevante el análisis de la información

disciplinar en fuentes documentales, el impulso a la reflexión y la valoración del conocimiento químico a partir de sus implicaciones tecnológicas, ambientales y sociales, así como el desarrollo de valores y actitudes que fomenten la responsabilidad, la creatividad y la formación ciudadana. Todas, metas afines con el impulso de la criticidad del pensamiento en el ámbito escolar.

Otro elemento en el que la coincidencia es muy marcada entre lo estipulado en los programas de estudio de las asignaturas en cuestión y la metodología que se propone seguir en esta antología, es lo concerniente a las fuentes de información y las estrategias propuestas en su análisis. En las estrategias sugeridas para construir aprendizajes y dar cobertura a los ejes temáticos de los planes de estudio de los cursos de Química III y IV en el Colegio, se invita a incentivar la investigación documental usando artículos provenientes de revistas divulgativas, notas periodísticas y videos mediáticos.

En lo concerniente al análisis de las fuentes antes mencionadas, en los programas de estudio de las asignaturas mencionadas se recomienda fomentar el trabajo cooperativo en pequeños grupos, la construcción de escenarios de diálogo y deliberación de ideas, promover la autorregulación del aprendizaje, así como el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la búsqueda y manejo de información. Este esquema didáctico abierto, horizontal y flexible está presente y

da cauce a las actividades escolares propuestas en esta publicación.

Los textos divulgativos compilados fueron seleccionados por su relación con contenidos de amplia relevancia social que figuran en los programas de estudio vigentes de Química III y IV en la institución, como la química verde, la metalurgia, los fertilizantes, el fracking y los biocombustibles. Al pertenecer al campo de la comunicación pública de la ciencia, estos materiales de lectura poseen cierta carga de subjetividad, por lo que resultan particularmente útiles para conducir al estudiante a analizar, cuestionar, contrastar, reflexionar y emplear esta información de forma consciente y responsable, contribuyendo con ello al desarrollo de su pensamiento crítico. Otros criterios que se consideraron en su elección fueron el correcto tratamiento que hacen de los conceptos, la terminología científica en los temas abordados y su redacción clara y precisa, lo que los hace accesibles a estudiantes del bachillerato.

Los autores de esta antología didáctica consideramos que este recurso contribuye a robustecer el trabajo educativo en torno a la química en la ENCCH, ya que al tener como metas centrales el impulso del pensamiento crítico y la enseñanza contextualizada, se dota de sentido el proceso de enseñanza-aprendizaje de la química, lo que contribuye en la adquisición de una cultura científica en el estudiantado.

Guía del usuario

Estructura de la antología

Con el propósito de ofrecer elementos suficientes que permitan promover la formación del pensamiento crítico mediante la incorporación y el análisis de textos divulgativos en las clases de Química de la ENCCH, la presente antología se ha estructurado en cuatro apartados:

1. **Elementos teóricos.** En esta sección se ofrece una definición del pensamiento crítico, se discuten las contribuciones que su impulso puede proveer en la educación científica y se abordan aspectos relacionados con el estado del arte de la metodología propuesta en esta antología.
2. **Estrategias de lectura crítica.** Se presentan cinco estrategias de lectura crítica: tres para abordar los ejes temáticos del programa de estudios de Química III y dos correspondientes al de Química IV. Cada una ofrece una breve descripción de los contenidos disciplinares por abordar, su relación con los aprendizajes presentes en los programas de estudio de estas asignaturas, una

sinopsis del texto divulgativo correspondiente y la secuencia de actividades diseñadas para su análisis y problematización.

3. **Instrumentos de evaluación.** En este apartado se presentan tres instrumentos de evaluación que resultan útiles, tanto para reconocer como para valorar el desarrollo de elementos del pensamiento crítico con la metodología propuesta. El primero es una rúbrica y permite evaluar el desarrollo de elementos del pensamiento crítico en las estrategias didácticas compiladas; para su elaboración se tomó como referente la visión de la criticidad propuesta por Paul y Elder (2006). El segundo permite dar seguimiento a algunos rasgos disposicionales que guardan relación con la criticidad, por lo que resulta útil en la valoración del aprendizaje actitudinal; mientras que el tercero se centra en la evaluación de la argumentación, aptitud intelectual que guarda una fuerte conexión con el pensamiento crítico.
4. **Bibliografía.** En esta última sección se ofrece un amplio listado de referencias que dan sustento al trabajo teórico y práctico presente en este recurso didáctico. Los textos citados pueden resultar de interés para los académicos interesados en profundizar en cuestiones teórico-pedagógicas relacionadas con la metodología propuesta.

La metodología propuesta para promover el pensamiento crítico en este recurso didáctico contempla cuatro etapas: I)

exploración de conocimientos previos; II) análisis de contenido de las lecturas; III) problematización, y IV) elaboración de un producto final. La primera etapa consiste en una serie de actividades para explorar los conocimientos previos de los alumnos sobre las temáticas que se comunican en los textos divulgativos seleccionados. En la segunda fase metodológica, el alumnado lleva a cabo una revisión general de los textos seleccionados. Esta labor requiere la identificación de ideas centrales, evidencias, datos, el reconocimiento de la posición de los autores sobre los temas que abordan los textos, así como la formulación de juicios e inferencias.

La tercera etapa tiene como finalidad que los alumnos problematicen los textos desde una óptica conceptual y contextual. En el primer caso, las estrategias ofrecen actividades experimentales breves, cuya realización permite reforzar conceptos clave sobre los temas presentes en los artículos divulgativos (con excepción de la quinta estrategia, en la que el trabajo experimental es extenso y puede ser tratado como un proyecto de investigación escolar). En lo que atañe a la revisión de lo contextual, se plantean actividades que comprenden la investigación documental sobre la dimensión CTS-A (Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente) de los contenidos estudiados. En la cuarta y última fase del proceso de análisis textual se solicita a los alumnos que elaboren trípticos, infografías, mapas conceptuales, informes, mapas mentales y ensayos. Estos productos finales permiten identificar el logro de interpretaciones críticas e incentivar la

argumentación y el uso de las TIC en el ámbito escolar, por lo que se sugiere su coevaluación y retroalimentación mediante dinámicas de pares. Para ello, se ofrecen listas de cotejo al final de cada estrategia.

En cuanto al enfoque didáctico, se propone que las primeras tres etapas del análisis textual se lleven a cabo en un esquema basado en el trabajo cooperativo en pequeños grupos, el diálogo y la mediación docente como estrategias de autorregulación del aprendizaje. Esto debido a que en la literatura se menciona que, cuando la construcción de aprendizajes está basada en la colaboración, la interacción y la participación en situaciones dialógicas, se suscita el desarrollo de habilidades de orden superior como indagar, juzgar, inferir, argumentar y reflexionar de forma coherente (Oliveras y Sanmartí, 2013); todas ellas, aptitudes necesarias para la adquisición del pensamiento crítico. Únicamente, en la cuarta fase metodológica relacionada con la elaboración de un producto final, se recomienda promover el trabajo individual. Esto con el objetivo de contar con evidencias de los logros conseguidos en este plano.

Se pretende que los elementos teóricos, los textos, la metodología del análisis textual, los instrumentos de evaluación y las referencias bibliográficas, presentes en esta antología, abonen en una enseñanza más robusta, reflexiva y significativa de la química en el Colegio de Ciencias y Humanidades y en el bachillerato universitario en general.

I. Elementos teóricos:

incorporación de textos divulgativos como estrategia para promover el pensamiento crítico

Esta sección ofrece algunos elementos teóricos que justifican la pertinencia de la propuesta metodológica presente en esta antología. El apartado comienza presentando una definición del pensamiento crítico y discutiendo algunas aportaciones que pueden generar su impulso en la educación científica. Posteriormente, se indaga sobre la interrelación existente entre la divulgación y la educación científica, así como el impacto que tiene la incorporación de textos divulgativos en el impulso del pensamiento crítico en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la ciencia en general.

1.1 El pensamiento crítico en la educación científica

1.1.1 ¿Qué es el pensamiento crítico?

En el ámbito de la educación formal, al pensamiento crítico se le suele contemplar como un medio que favorece la comprensión significativa y reflexiva de los contenidos disciplinares, la resolución de problemas y la toma de decisiones informadas (Facione, 2007). A pesar de su amplio reconocimiento en el discurso educativo y social, la promoción sistematizada del pensamiento crítico en el ámbito escolar es limitada, debido a la falta de claridad que impera en los docentes sobre su significado, sus objetivos más inmediatos, sus alcances, así como su valor, tanto dentro como fuera de las aulas (Wright, 2002). Por tal razón, en este primer apartado se analiza el origen y los elementos que configuran esta noción desde una perspectiva analítica, ya que esta visión es la que ha tenido mayores repercusiones en el campo de la educación. Posteriormente, se discuten algunos objetivos y contribuciones que pueden asociarse al impulso de la criticidad en la educación científica.

El término pensamiento es un sustantivo que proviene del latín *pensare* y que hace alusión al verbo pensar, acción que la literatura asocia con la capacidad de recrear la realidad mediante estímulos internos y externos para diferentes fines. Por razones prácticas y debido a que no es menester en este trabajo indagar sobre este debate, se toma

como definición de pensamiento la que ofrece el filósofo Manuel de Vega (1990), ya que es una de las más aceptadas en el campo de las ciencias cognitivas. Según el autor, se entiende como pensamiento una actividad compleja del sistema cognitivo que surge cuando nos enfrentamos a una tarea o a un problema con un objetivo definido y con cierto nivel de incertidumbre en su realización.

Por otra parte, la palabra crítico procede del griego *kritikos* que, posteriormente, fue latinizada como *criticus* y que en español hace alusión a crítica, por lo que puede asociarse a toda acción que tiene como objeto criticar o problematizar. Uno de los primeros filósofos que relacionó el término de crítica con el razonamiento fue el filósofo Immanuel Kant (1724-1804). Para este pensador, la crítica puede contemplarse como un proceso que hace posible que la razón construya conocimientos fundamentados, e incluso asoció a esta acción la función de dar legitimidad a todo intento de raciocinio (Kant, 2002). El éxito de su trabajo contribuyó de forma importante para que el estudio del razonamiento se consolidara de manera formal en el seno de la filosofía.

Tomando en cuenta lo anterior, se puede conceptualizar el pensamiento crítico como una acción intelectual encaminada al análisis o problematización racional de un tema, fenómeno o hecho de interés. Su propósito es generar cuestionamientos, mejores juicios y razonamientos orientados a una comprensión exitosa del contexto que nos rodea (Meinguer, 2018). En la actualidad, existen dos ver-

tientes académicas en torno a su caracterización. La primera tiene su origen en las disciplinas sociales, en la que el pensamiento crítico está fuertemente ligado con la escuela de Frankfurt y el análisis sociopolítico. Mientras que la segunda —que es la de interés en esta antología— proviene de la filosofía analítica, así como de las ciencias cognitivas y está vinculada con el desarrollo de la integridad intelectual de las personas, un objetivo que es inherente a la educación.

En el campo de la filosofía analítica, el término “critical thinking” (pensamiento crítico) comenzó a figurar a mediados de la década de los setenta, en un movimiento que se generó en países anglosajones por profesores insatisfechos con los logros de aprendizaje obtenidos en los cursos tradicionales de lógica formal o proposicional. Como alternativa este movimiento académico, promovió la enseñanza del pensamiento crítico, el cual, desde sus inicios, se vinculó con el análisis del razonamiento de lo cotidiano. Posteriormente, para referenciar su estudio, se usaron títulos como lógica práctica, lógica aplicada y lógica informal, siendo este último el que logró mayor aceptación en el ámbito académico (Herrera, 2008).

En la tradición analítica, al pensamiento crítico se le relaciona con la comprensión y evaluación de argumentos en sus hábitats naturales, como el jurídico, el estético, el ético, el científico, entre otros. Esta visión fue cobrando relevancia en la educación gracias a los trabajos del denominado Grupo de los cinco, un núcleo de filósofos estadounidenses que ejer-

cieron activamente la docencia y realizaron contribuciones valiosas acerca del importante papel que juega este proceso epistémico en la formación intelectual de las personas (Boisvert, 2004). El Grupo de los cinco constituye un referente en la literatura sobre el pensamiento crítico y está integrado por los filósofos John McPeck, Robert Ennis, Harvey Siegel, Matthew Lipman y Richard Paul. Los trabajos de este último son los que han tenido mayor impacto en el campo de la enseñanza de las ciencias. Por tal razón, su visión constituye el basamento teórico del trabajo educativo que se propone en esta antología.

1.1.2 La noción de pensamiento crítico de Paul y Elder

Según Richard Paul y Linda Elder (2007), el pensamiento crítico puede definirse como un modo de pensar sobre cualquier tema, contenido o problema en el que un sujeto mejora la calidad de su pensamiento inicial; esto, al ocuparse con habilidad de las estructuras inherentes al acto de pensar y evaluarlas mediante estándares intelectuales. Así, la clave para desencadenar una mejora del pensamiento está en reestructurarlo como producto de su análisis y evaluación. Desde esta perspectiva, se señala que un pensador crítico se distingue por mostrar los siguientes rasgos intelectuales:

- Formula problemas y preguntas con claridad y precisión.
- Acumula, maneja, evalúa información relevante y usa

ideas abstractas para interpretar esa información de manera efectiva.

- Llega a conclusiones y soluciones, probándolas con criterios y estándares relevantes.
- Piensa con una mente abierta dentro de los sistemas alternos de pensamiento.
- Reconoce y valora, según sea necesario, los supuestos, implicaciones y consecuencias prácticas alrededor de un tema.
- Al idear soluciones a problemas, se comunica efectivamente (Paul y Elder, 2006).

Esta definición de la criticidad se basa en una articulación sistemática que involucra tres rubros: elementos de pensamiento, estándares y características o virtudes intelectuales. Para Paul y Elder (2007), el acto de pensar está basado en ocho elementos: 1) un propósito, objetivo o meta; 2) el intento de dar solución a una pregunta, problema o la necesidad de explicar algo; 3) el manejo de información (datos, evidencias e ideas), en el entendido de que el pensamiento es tan sensato como la información en que se basa; 4) la formulación de inferencias y juicios para llegar a conclusiones sólidas; 5) el reconocimiento de los supuestos o ideas implícitas que se dan por hecho en el estudio de una temática; 6) el manejo de teorías y conceptos que se consideran claves para comprender un fenómeno dentro de una disciplina; 7) la identificación de las implicaciones y

consecuencias en el estudio de un tema y, 8) la consideración de diferentes puntos de vista.



Imagen 1. Elementos del desarrollo del pensamiento crítico, tomada de Paul y Elder (2006).

El segundo aspecto a considerar es lo que Paul y Elder (2007) denominan estándares intelectuales. Estos son criterios útiles para valorar la calidad del razonamiento sobre un problema o contenido de interés. En otras palabras, permiten reconocer el grado de desarrollo de los ocho elementos antes mencionados y ayudan a manejar y procesar la información con rigor y autonomía. Los estándares referenciados en esta visión de la criticidad son la claridad, la exactitud, la relevancia, la lógica, la profundidad, la amplitud y la imparcialidad. La claridad tiene como función

eliminar la ambigüedad en el pensamiento y la adopción de una posición manifiesta; la exactitud se relaciona con la construcción de un saber respaldado por evidencias; la relevancia, con la pertinencia que tienen las ideas formuladas en un campo disciplinar o contexto determinado; la lógica alude a la coherencia en la interpretación y la elaboración de argumentos; la profundidad a evitar la superficialidad en el proceso de razonar; la amplitud a considerar diferentes perspectivas al analizar un tema y la imparcialidad fomenta la objetividad al evaluar razonamientos.

Los estándares aplicados a los ocho elementos de pensamiento ayudan a manejar y procesar la información con rigor, a hacer significativo el aprendizaje de los contenidos de un área de conocimiento, así como a la consecución de un entendimiento profundo y duradero. Desde este enfoque, la criticidad invita a pensar arribando a conclusiones, a defender posiciones sobre asuntos controversiales o complejos, a transferir ideas a otros contextos y a reconocer inconsistencias o contradicciones en el razonamiento con el fin de mejorarlo.

El tercer elemento es el desarrollo de una serie de cualidades disposicionales que estos autores denominan características o virtudes intelectuales, las cuales constituyen pautas para reconocer la excelencia en el pensamiento. En este núcleo disposicional destaca la formación de la honestidad, la autonomía, la integridad y la perseverancia intelectual.

Teorías en educación y su impacto en el desarrollo del pensamiento crítico	
Teoría dominante	Teoría crítica emergente
La necesidad fundamental de los estudiantes es ser enseñados más o menos directamente sobre qué pensar y cómo pensar.	La necesidad fundamental de los estudiantes es ser enseñados sobre cómo pensar y no qué pensar.
El conocimiento es independiente del pensamiento que genera, organiza y aplica.	Todo conocimiento o contenido es generado, organizado, aplicado, sintetizado, y evaluado por el pensamiento.
Una persona educada es fundamentalmente un depósito de contenidos análogo a una enciclopedia o base de datos.	Una persona educada es fundamentalmente un depósito de estrategias, principios, conceptos e <i>insights</i> , encajados en un proceso de pensamiento más que en hechos atomizados.
Conocimiento, verdad y comprensión pueden ser transmitidos de una persona a otra a través de proposiciones verbales o textos escritos didácticamente.	Conocimiento y verdad son raramente, y el <i>insight</i> nunca transmitidos de una persona a otra por la simple transmisión de la proposición verbal.
Los estudiantes no necesitan ser enseñados en habilidades de escucha para aprender de otros.	Los estudiantes deben ser enseñados sobre cómo escuchar críticamente.
Las habilidades básicas de lectura y escritura pueden ser enseñadas sin énfasis en habilidades de pensamiento de orden superior.	Las habilidades básicas de lectura y escritura son habilidades inferenciales que requieren pensamiento crítico.
Si los estudiantes no tienen preguntas es porque han aprendido bien.	Si los estudiantes no tienen preguntas no han aprendido cómo lo han hecho quienes tienen preguntas.
Las clases silenciosas reflejan que los estudiantes están aprendiendo.	Clases silenciosas reflejan poco aprendizaje de los estudiantes.
Conocimiento y verdad pueden ser aprendidos mejor siendo descompuestos en elementos y éstos en subelementos, para ser enseñados secuencial y atomizadamente.	Conocimiento y verdad son fundamentalmente sistémicos y holísticos, y sólo pueden ser aprendidos por síntesis continuas (así la educación debería estar organizada en torno a problemas y conceptos básicos).
Se logra un conocimiento significativo sin profundizarlo o evaluarlo.	La gente logra conocimiento cuando lo profundiza y evalúa.
Es más importante cubrir una gran cantidad de información con poca profundidad.	Es mejor menor cantidad de información en profundidad.
El profesor tiene la responsabilidad del aprendizaje del estudiante.	El estudiante incrementa su aprendizaje si se hace responsable.
El aprendizaje es esencialmente un proceso privado monológico.	El aprendizaje es un proceso dialógico, público y emocional.
La ignorancia es un vacío.	Prejuicios, sesgos y conceptos equivocados deben ser descompuestos.

Imagen 2. Diferencias entre la visión neopositivista de la educación y la pedagogía crítica emergente (Alvarado, 2014).

Tomando en cuenta lo expuesto en párrafos anteriores, se puede aseverar que pensar críticamente es conducente a fincar una vida más racional, benéfica y productiva. En este sentido, Paul y Elder (2006) mencionan que las personas que son críticas suelen ser congruentes con el principio socrático que dice “una vida sin examinarse no vale la pena ser vivida”, porque son conscientes de que muchas vidas en las que prevalece la irreflexión y el pensamiento de mala calidad dan como resultado una sociedad peligrosa, gris, injusta y sin sentido.

1.1.3 El valor del pensamiento crítico en la educación científica

Al definir el pensamiento crítico como un tipo de razonamiento reflexivo que dota de rigor el proceder intelectual de las personas, se pueden establecer tres aportaciones que su desarrollo ofrece al ámbito de la educación científica: 1) potenciar el entendimiento temático o disciplinar, 2) favorecer la argumentación en las aulas y laboratorios y, 3) coadyuvar en la formación de cualidades disposicionales que son propias de la responsabilidad intelectual (Meinguer, 2018).

La principal función cognitiva del pensamiento crítico en el ámbito de la educación científica es suscitar el entendimiento reflexivo de los contenidos disciplinares, es decir, el reconocimiento de la consistencia, la validez y el significado que posee la información disciplinar que se comunica en las aulas. Como se ha mencionado anteriormente, Paul y Elder

(2006) sostienen que la criticidad del pensamiento favorece el entendimiento reflexivo de un tema o contenido al articular ocho elementos que son inherentes al acto de pensar y valorarlos con estándares intelectuales. Estos elementos del pensamiento no son independientes, sino que funcionan uno en relación con el otro y permiten fincar relaciones explicativas basadas en la objetividad y la coherencia.

La segunda ventaja que ofrece la promoción del pensamiento crítico en las aulas es el fomento de la argumentación escolar. Esta aptitud no debe contemplarse como una relación estrictamente lógica entre una serie de premisas y su conclusión, sino como un acto lingüístico por medio del cual se busca persuadir, convencer o resolver un problema en una situación dialógica (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2012). Desde esta óptica, la aptitud de argumentar implica comunicar, valorar, refutar, analizar y decidir. Todas estas son habilidades que comparte con la criticidad del pensamiento.

En el campo de la educación científica, la argumentación es definida como una aptitud que promueve la explicitación de las representaciones internas que construyen los estudiantes sobre los contenidos estudiados en clase (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2012). Su valor reside en su naturaleza informal (no axiomática), ya que permite dar cauce a los discursos sociales, esto es, al contexto que enmarca y dota de significado el aprendizaje. Al ser un proceso basado en el análisis y valoración de información, el impulso del pensamiento crítico puede coadyuvar al reconocimiento de presupuestos

subyacentes en la construcción de argumentos, a la evaluación de su consistencia, rigor y veracidad, así como a la acción comunicativa. Por lo anterior, resulta claro que, en el marco de la enseñanza de las ciencias, el pensamiento crítico y la argumentación son dos cuestiones imbricadas que favorecen los procesos de metacognición y la enseñanza contextualizada.

La tercera aportación, que se puede asociar con el impulso de la criticidad del pensamiento en el ámbito escolar, es la formación de un núcleo de elementos disposicionales que potencian la integridad intelectual en el estudiantado. A estas cualidades disposicionales, Paul y Elder (2007) denominan virtudes intelectuales y suelen ser agrupadas en el campo de la epistemología analítica bajo una noción denominada responsabilidad epistémica (Code, 2011). Bajo esta perspectiva, la justificación de los logros cognitivos guarda una estrecha relación con el proceder de un sujeto al llevar a cabo una tarea o actividad intelectual.

En el caso concreto del pensamiento crítico, la responsabilidad se asocia con la búsqueda, la selección y el uso que se da a la información para suscitar el entendimiento y participar en la discusión de un tema específico en el campo de una disciplina; de tal forma que, cuando virtudes como la autonomía, la honestidad, la empatía y la perseverancia intelectual se atrincheran y se convierten en disposiciones estables en el accionar de una persona, éstas le confieren prestigio y credibilidad. Tomando en cuenta lo anterior, para catalogar a un individuo como crítico es necesario que, además de ex-

hibir rigor y coherencia en el plano cognitivo, manifieste un proceder responsable en su orientación hacia el mundo, hacia el propio yo que busca conocimiento y hacia otros sujetos semejantes como parte del mundo (Code, 2011.). Esta visión cobra sentido si se le relaciona con el ideal contemporáneo que reivindica a las sociedades democráticas de transformar a su población en una ciudadanía informada y participativa (Santisteban, 2013).

Recapitulando, esta breve caracterización del pensamiento crítico y sus aportaciones al ámbito de la educación científica buscan ampliar el dominio de dicha noción en el profesorado, ya que tal acción reeditarán en potenciar su desarrollo en la enseñanza de la química en el bachillerato universitario.

1.2 Interrelación entre la divulgación de la ciencia y la educación científica

1.2.1 Definición y objetivos de la comunicación pública de la ciencia

En México, por una tradición fincada por académicos que conforman este campo de conocimientos, se utiliza la palabra divulgación para referenciar el proceso de acercar los avances que genera la ciencia a la población. Sin embargo, especialistas en dicha área coinciden en señalar que la denominación correcta de esta actividad es la de

comunicación pública de la ciencia (Alcíbar, 2015). Como en el caso del pensamiento crítico no existe una definición universal que abarque todos los aspectos teóricos y prácticos que involucra la comunicación pública de la ciencia, ya que responde a diversas perspectivas alrededor del mundo. No obstante, se pueden mencionar algunos rasgos distintivos.

La comunicación pública de la ciencia es una labor multidisciplinaria porque en su accionar intervienen especialistas de diferentes disciplinas, como científicos, filósofos, comunicadores, educadores e inclusive artistas. En un sentido general, la comunicación pública de la ciencia es un proceso dinámico que ocurre entre una comunidad de expertos y un público diverso, el cual suele ser no especializado. Esta acción tiene como finalidad difundir, mediar y recrear el conocimiento científico a partir de una variedad de estrategias y medios en contextos educativos informales y formales. De manera específica, Sánchez (2010) asocia tres objetivos primordiales a la divulgación de la ciencia: la apreciación pública de la ciencia, el fomento de una cultura científica y la participación informada en materia de ciencia y tecnología.

Otros aspectos relevantes por mencionar en torno a la divulgación de la ciencia son que se sitúa en la geografía de la educación informal, por lo que es una actividad paralela e independiente del sistema educativo; es espontánea y voluntaria porque consiste en la libre participación en situaciones de aprendizaje; permanente, porque puede cul-

tivarse durante toda la vida de una persona; no dirigida, ya que su audiencia se caracteriza por la diversidad. Se manifiesta en una gran variedad de medios como los museos, libros, revistas de divulgación, prensa, productos audiovisuales (radio, cine, video y televisión), tecnologías digitales, ferias, centros, clubes y cafés de ciencias, por mencionar algunos.

1.2.2 Aportaciones de la divulgación de la ciencia en el ámbito escolar

En la educación escolarizada la divulgación científica cumple una función complementaria en el proceso de enseñanza de la ciencia, porque llena vacíos informativos concernientes a los nuevos avances que la comunidad científica está desarrollando, contribuye al desarrollo de la educación permanente y fomenta actitudes positivas hacia el conocimiento científico (Calvo, 2003). Divulgadores y educadores coinciden en que la comunicación pública de la ciencia es una loable compañía de la educación formal, ya que hace posible la creación e implementación de herramientas que modifican, de manera importante, la forma de presentar los contenidos en las aulas, como los blogs de ciencia, las revistas divulgativas, los distintos tipos de software para modelar el mundo estelar, celular y molecular, los enlaces químicos, los cambios en el clima, la evolución de las especies y las funciones matemáticas, entre otras (Reynoso, 2002).

Considerando las aportaciones de la divulgación científica al proceso de enseñanza-aprendizaje de la ciencia, Ángel Blanco (2004) propone estudiar su impacto mediante tres ejes: como recurso didáctico (por su presencia en medios como la prensa, la radio, la televisión o el cine), como fuente de aprendizaje (se ha constatado que las concepciones o ideas previas de los alumnos sobre la ciencia tienen orígenes muy diversos, entre los que se encuentran los discursos presentes en los medios de comunicación) y como objeto de estudio (alude a la importancia de capacitar a los estudiantes en el manejo y comprensión de la ciencia presente en los medios de comunicación). Las tres perspectivas son legítimas y necesarias para analizar las relaciones que se están tejiendo entre la divulgación y la educación científica. Sin embargo, es importante considerar que cada una de ellas sirve a propósitos o fines distintos.

En el contexto actual, es necesario que se reconozca que la escuela ya no es hoy en día (al menos para los estudiantes de etapas obligatorias), la única instancia ni la fuente más atractiva para adquirir información y construir aprendizajes científicos. Por consiguiente, la educación científica debe apoyarse en la comunicación pública de la ciencia, teniendo en cuenta que, las formas y los enfoques para hacerlo constituyen asuntos abiertos de investigación.

1.3 El uso de textos de divulgación científica como herramienta para fomentar el pensamiento crítico

La lectura constituye uno de los pilares sobre los que está cimentada la educación, gracias a ella es posible desarrollar una serie de habilidades y estrategias cognitivas que se ponen en marcha durante toda la vida. La lectura, dentro o fuera del aula, permite que los estudiantes se apropien de nuevos conocimientos, aprendan el lenguaje de la ciencia y puedan confrontar sus puntos de vista con otras personas (Marbá y Márquez, 2009). Por ello, la educación científica debería estimular más el hábito de la lectura, pues con ello se contribuye a edificar una formación integral.

Sin embargo, en los últimos años, la tendencia no ha ido en esta dirección: la falta de interés del alumnado sobre los textos científicos tradicionales y por la ciencia en general, ha ocasionado que los docentes simplifiquen al máximo la actividad lectora. Como resultado, predomina en los salones de clase la revisión de folletos, diapositivas y libros de texto como estrategia para memorizar o dominar información, en lugar de procesos críticos centrados en su interpretación.

Para revertir esta situación, varios académicos han planteado la necesidad de redimensionar el papel de la lectura en la educación científica, así como ampliar el abanico de recursos textuales presentes en su enseñanza (Márquez y Prat, 2005; Cassany, 2010). Una forma de hacer frente a este problema es incorporando en la educación científica materiales de

lectura provenientes del campo de la comunicación pública de la ciencia y diseñando estrategias en su decodificación, que permitan la formación de aprendizajes reflexivos, críticos y significativos. Este tipo de textos permiten comunicar información sobre temas novedosos y de interés público relacionados con la ciencia y tecnología, analizan sus implicaciones socioculturales y muestran la relevancia de los conocimientos en la vida más allá del aula (Gadea y Vilchis, 2009). Además, al ser textos cortos (con poco volumen de información) pueden ser de gran utilidad en intervenciones docentes que tengan como propósito redondear el estudio de una unidad o temática en particular, promover la investigación documental y fomentar el pensamiento crítico (Oliveras y Sanmartí, 2013), como es el caso de las estrategias didácticas que integran esta antología.

Los académicos irlandeses Ruth Jarman y Billy McClune (2012) señalan que, los textos de naturaleza informativa (periodísticos y divulgativos) pueden ser contemplados como materiales vivos que incentivan en los alumnos el interés por la ciencia. En la literatura se menciona que cuando los estudiantes se enfrentan a un texto divulgativo o periodístico suelen posicionarse epistemológicamente de tres formas: 1) adoptar una postura débil o pasiva, permitiendo que los contenidos de una publicación se impongan a sus conocimiento previos, al grado de efectuar interpretaciones contrarias a sus propias ideas; 2) asumir una postura dominante, lo cual se asocia con mostrar una

exacerbada confianza en sus conocimientos o creencias previas, al grado de condicionar los contenidos presentes en un texto e imposibilitar su adecuada internalización, y 3) desarrollar un posicionamiento crítico, entendido como la capacidad de emprender una negociación interactiva entre el texto, el contexto y las ideas previas del sujeto lector, para que la interpretación resultante de un tema sea lo más coherente y completa posible (Norris y Phillips, 2003). Este último posicionamiento es el que se busca incentivar con la metodología propuesta en esta publicación didáctica.

Pero más allá de una cuestión estrictamente pragmática, esta antología puede contribuir también a que el estudiante tome conciencia de que la lectura de un texto científico puede ser una aventura tan apasionante y placentera como leer una laureada novela o mirar un reconocido filme.

II. ESTRATEGIAS DE LECTURA CRÍTICA

Lectura 1 :

La química verde

QUÍMICA III

UNIDAD 1. LA INDUSTRIA QUÍMICA EN MÉXICO: FACTOR DE DESARROLLO

Estrategia I. La química verde

Presentación

En esta primera estrategia de lectura crítica se aborda el tema de la química verde. Su estudio se sitúa en la primera unidad del programa de Química III debido a que en este tema figuran contenidos relacionados con el reconocimiento del papel que juega la industria química como factor de desarrollo (ENCCH, 2016). Concretamente, los aprendizajes que se busca promover en el proceso de análisis textual son:

El alumno:

- A1. Reconoce a los recursos naturales como fuente de materias primas para la industria, a partir de la investigación y análisis de información documental (ENCCH, 2016, p. 15).
- A3. Valora el papel de la industria química como factor de desarrollo, al analizar información sobre las cadenas productivas de la industria química y su relación con la economía de un país (ENCCH, 2016, p. 16).

Es importante que los estudiantes, además de reconocer el valor que posee la industria química, indaguen sobre las contribuciones que genera esta ciencia, para dotar de mayor eficiencia sus procesos de síntesis, disminuir su impacto ambiental y contribuir al denominado desarrollo sostenible.

Sinopsis

El texto de Benjamín Ruiz Loyola y Jorge Benjamín Ruiz Gutiérrez, “La química verde”, aborda las contribuciones de este enfoque y la aplicación de los doce principios propuestos por Paul Anastas y John Warner (1998), como una alternativa para el empleo de materias primas renovables que contribuyan a reducir la formación de residuos peligrosos y, simultáneamente, favorezcan el diseño de procesos de síntesis más eficaces y sostenibles.

Ficha de referencia

Ruiz Loyola, Benjamín y Benjamín Ruiz Gutiérrez, “La química verde”, publicado en *¿Cómo ves?*, Año 13, Núm. 150, pp. 30-33, UNAM, Cd. de México 2011.



Imagen 3. Los doce principios de la química verde (Rodríguez, 2018).



La química verde

Benjamín Ruiz Loyola
Jorge Benjamín Ruiz Gutiérrez

Los frutos de una iniciativa que surgió hace más de 20 años para reparar y prevenir los daños ocasionados a la salud y al ambiente por los avances tecnológicos.



Cualquier desarrollo industrial suele venir acompañado de daños al ambiente y a los seres vivos que lo habitan. La historia de estos daños puede rastrearse varios siglos atrás y es muy larga de contar, pero algunos ejemplos servirán para darnos idea de su magnitud.

A finales del siglo XIII, la nobleza inglesa protestó ante el rey Edward I por la contaminación generada por el uso de cierto tipo de carbón (que era necesario para calentar los hogares). A principios del siglo siguiente, bajo el reinado de Edward II, un hombre fue torturado por envenenar el aire con polvos pestilentes originados por la quema de carbón. A partir de entonces se buscó la manera de regular el empleo de este combustible en Londres

mediante impuestos y legislaciones regulatorias. Cinco siglos después, en 1909, el fenómeno del esmog (del inglés *smog*, término de origen escocés para describir la mezcla de humo y niebla) causó más de 1000 muertes en Glasgow. En 1952 el mismo fenómeno provocó en Londres la muerte de miles —los cálculos oscilan entre 4000 y 12000— por una inversión térmica que duró cinco días. Fue a partir de este episodio y de otros similares que se crearon los sistemas de monitoreo atmosférico para proteger y advertir a los habitantes de las ciudades de la contaminación (ver *¿Cómo ves?* No. 91).

Otros desastres ambientales en el siglo XX fueron a causa de la práctica de enterrar los residuos de la actividad industrial para hacer como los avestruces: “si no lo veo, no existe”. Uno fue el del Love Canal, en el estado de Nueva York, donde se enterraron más de 20000 toneladas de desechos tóxicos entre 1920 y 1950, y se construyeron, en los años 60, casas cuyos compradores no sabían que estaban sobre un cementerio industrial clandestino. Las lluvias provocaron que los contenedores se deshicieran al contacto con el agua y con los desechos tóxicos, y que estos últimos fueran arrastrados al subsuelo y comenzaran a aflorar envenenando los mantos acuíferos. Esto causó enfermedades en los

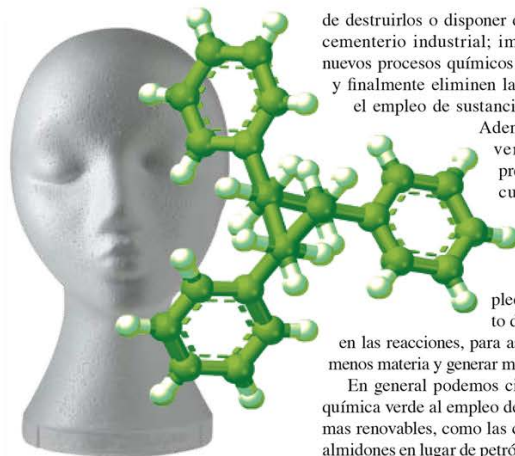
habitantes de la comunidad y que muchos bebés nacieran con malformaciones. Lo sucedido en Love Canal encendió focos rojos sobre la necesidad de controlar el origen y destino de los residuos peligrosos.

Uno de los peores accidentes industriales en la historia de la humanidad ocurrió la noche del 2 al 3 de diciembre de 1984 en la ciudad de Bophal, en India. Una cadena de errores condujo a una fuga de varios productos químicos en una planta donde se fabricaban pesticidas, entre ellos el isocianato de metilo, que provocó la muerte inmediata de más de 2500 personas. Hasta la fecha, los cálculos oscilan entre 3500 y 15000 muertes vinculadas directamente a la fuga, además de decenas de miles de afectados, incapacitados total o parcialmente. Este hecho obligó a investigar ampliamente el costo social que puede llegar a tener el desarrollo industrial.

Doce principios

A partir de lo ocurrido en Bophal se comenzó a tener mucho más en cuenta el impacto de las actividades industriales y las posibles maneras de controlarlo. Se distinguieron entonces dos tendencias en la actividad científica e industrial: una, conocida como química de chimenea, busca manejar mejor los residuos que pudieran generarse y así evitar desastres; en la otra, la llamada química verde o sustentable —y que cada vez está más en boga— se considera que la mejor forma de control es la prevención. A mediados de los años 90, la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos estableció que “la química verde consiste en una serie de principios que reducen o eliminan el empleo o generación de sustancias peligrosas en el diseño, manufactura y aplicación de productos químicos”. Entre los beneficios de la química verde la EPA destaca la disminución de desechos, productos más seguros, un menor uso de energía y recursos, y una mayor competitividad de los fabricantes y sus clientes.

En 1998, Paul Anastas, que en ese entonces trabajaba para la EPA, y John Warner publicaron el libro *Química verde: teoría y práctica*, el primero dedicado a



Poliestireno.

este enfoque de la química. En él se establecen los 12 principios que ahora se emplean para tratar de hacer los procesos químicos más seguros para todos, humanos, animales, plantas y ambiente (ver recuadro).

La química verde es un enfoque —hay quien incluso la considera una filosofía— que pretende conciliar la actividad química con el entorno en que se desarrolla. Significa dar un paso más allá de simplemente tratar los residuos peligrosos antes

de destruirlos o disponer de ellos en un cementerio industrial; implica diseñar nuevos procesos químicos que reduzcan y finalmente eliminen la generación y el empleo de sustancias peligrosas.

Además tiene que ver con el uso preferente de recursos renovables en lugar de recursos agotables y con el empleo más complejo de los reactivos en las reacciones, para así desperdiciar menos materia y generar menos desechos.

En general podemos circunscribir la química verde al empleo de materias primas renovables, como las celulosas o los almidones en lugar de petróleo; a procedimientos de síntesis (es decir, las reacciones por medio de las cuales se transforman las materias primas en productos; por ejemplo, la reacción entre anhídrido acético y ácido salicílico para producir ácido acetilsalicílico, la famosa aspirina) de bajo impacto ambiental tanto en lo químico como en lo energético; al uso de reactivos ambientalmente aceptables; a la sustitución de los disolventes tradicionales por otros más amigables desde el punto de vista ambiental, como el agua o el dióxido de carbono en lugar de disolventes orgánicos; al empleo de productos químicos más

seguros, no tóxicos, ni inflamables ni volátiles y que se puedan reutilizar o reciclar antes de ser desechados definitivamente; y al uso de fuentes alternativas de energía para realizar reacciones químicas. En este último punto es importante mencionar que se ha venido sustituyendo el empleo de energía térmica derivada de la combustión o de la resistencia eléctrica por otras energías más eficientes (en las reacciones químicas) como radiación infrarroja, microondas o ultrasonidos.

En la vida diaria

A continuación, algunos ejemplos de cómo ya se aplican principios de la química verde en productos que utilizamos cotidianamente.



Bariles de desechos tóxico en Love Canal, Nueva York.

El ibuprofeno es un medicamento analgésico antiinflamatorio que se emplea mucho para tratamiento de artritis, fiebre y problemas asociados a inflamaciones como golpes. La manera en que se fabricaba hasta hace unos años implicaba seis pasos y la producción de varios subproductos. En la actualidad su síntesis, que sigue los principios de la química verde, se realiza empleando catalizadores en solamente

tres pasos (la mitad del proceso original) y con menos subproductos. De esta forma se reduce sensiblemente el impacto ambiental de la preparación de un medicamento de uso muy frecuente entre la población, disminuyendo la cantidad de subproductos y,

por lo mismo, de residuos generados por esta síntesis.

El estireno es una materia prima para la fabricación de poliestireno que tradicionalmente se preparaba a partir de benceno y etileno, en dos pasos. Este proceso es de un alto impacto ambiental por las características del benceno, que entre otras cosas es un conocido agente cancerígeno. La ruta moderna para preparar el estireno parte

de xileno, que ambientalmente es más amigable que el benceno y se está trabajando para partir del tolueno, que haría un producto todavía más verde. De esta forma, podremos seguir empleando los artículos de poliestireno a los que estamos acostumbrados sin causar tanto daño al ambiente (como la espuma de poliestireno, que se usa en colchones, almohadas y rellenos de sillas y sillones; en su forma rígida se emplea en la industria de la construcción para formar tabiques y bloques, empaques, aislantes; y en su forma más comercial, constituye los vasos y platos térmicos tan comunes en fiestas y días de campo).

En las tintorerías existen dos procesos de lavado, el tradicional con agua y el conocido como lavado en seco, que consiste en desmanchar las prendas con disolventes orgánicos. Hace mucho se empleaban hidrocarburos como la gasolina para este tratamiento pero las manchas en ocasiones persistían, por ello se comenzó a utilizar el tetracloroetileno (también llamado *percloroetileno* o *perc*) que tiene un poder desmanchador mucho más elevado que el de la gasolina. Sin embargo, este compuesto contamina el agua y se sospecha que puede estar asociado a la aparición de ciertos tipos de cáncer. La química ha encontrado un excelente sustituto para el percloroetileno: el dióxido de carbono líquido junto con un detergente. Las tintorerías poco a poco van cambiando el *perc* por el dióxido de carbono. Esta tecnología ha sido aprobada y fomentada por la EPA y se espera que en menos de una década el cambio haya sido total. De esta forma se utiliza algo que se encuentra en el am-



Los 12 PRINCIPIOS DE LA QUÍMICA VERDE

1. Es mejor prevenir la formación de residuos que tratarlos o limpiarlos una vez formados.
2. Los métodos de síntesis se diseñarán de manera que incorporen en el producto final el máximo de los materiales empleados en el proceso. Esto se refiere a las distintas maneras que tienen los químicos para transformar las moléculas; por ejemplo, el agua se puede obtener haciendo reaccionar hidrógeno y oxígeno (lo que no genera subproductos) o con sosa y ácido clorhídrico (que además del agua genera cloruro de sodio), lo que nos muestra dos métodos de síntesis para el agua, uno que incorpora en el producto todos los materiales empleados y otro que genera un subproducto no deseado.
3. Siempre que sea posible los métodos de síntesis se diseñarán para emplear y generar sustancias con poca o ninguna toxicidad para la salud humana y el ambiente.
4. Los productos químicos deberán diseñarse de manera que conserven su eficacia a la vez que se reduce su toxicidad.
5. En la medida de lo posible se evitará el uso de sustancias auxiliares como disolventes o agentes para separación, y si se emplean deberán ser lo más inocuos posible.
6. Los requerimientos energéticos deberán ser minimizados y clasificados en función de sus impactos ambiental y económico. Se deberá intentar realizar los métodos de síntesis a presión y temperatura ambiente.
7. Mientras sea posible técnica y económicamente, las materias primas deberán ser renovables en vez de no renovables.
8. Siempre que sea posible se deberá evitar la formación de derivados (grupos de bloqueo, de protección o desprotección, modificación temporal de las condiciones físicas o químicas del proceso). Hay partes de las moléculas que deben protegerse de las condiciones del proceso para que no reaccionen y luego hay que quitar esa

protección, por ello lo mejor sería evitar las condiciones que modificarían al producto y con ello ya no tiene que protegerse.

9. Se preferirá el uso de catalizadores lo más selectivos posible sobre los reactivos estequiométricos. En ocasiones las reacciones de síntesis más comunes no son completas o generan subproductos aunque la transformación de los reactivos sea total; un catalizador selectivo ayudará a que se obtenga solamente el producto deseado.

10. Los productos químicos deberán diseñarse de manera que al finalizar su función no persistan en el ambiente sino que se descompongan en productos de degradación inocuos.

11. Los métodos de análisis deberán desarrollarse de manera que permitan el monitoreo y control del proceso en tiempo real, para prevenir la formación de sustancias peligrosas. Cuando se lleva a cabo una reacción química, usualmente se realiza el análisis de los productos (se identifican) al finalizar la reacción; aquí se propone que la identificación se lleve a cabo mientras la reacción ocurre, de manera que cuando el producto de interés se haya formado, se detenga el proceso para que no se formen sustancias peligrosas como subproductos de la reacción. Los métodos de análisis más comunes en la actualidad son la cromatografía (de gases, de líquidos, en capa fina), la espectroscopia (que entrega a quien hace el análisis un "espectro" o "mapa" de los enlaces entre los átomos que forman las moléculas y con ello el químico puede identificar las sustancias), de infrarrojo, ultravioleta o resonancia magnética nuclear y la espectrometría de masas (que señala, entre otros, el peso molecular del compuesto producido y ayuda a su identificación).

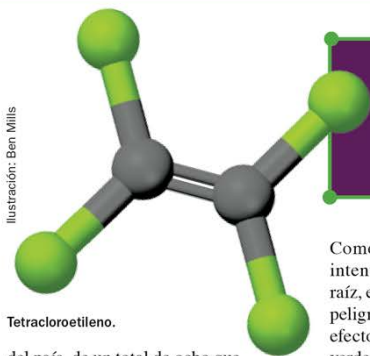
12. Deberán elegirse las sustancias y sus formas de manera que se minimice el potencial de accidentes químicos, incluidas las fugas, las explosiones y los incendios.

biente (el CO_2) para limpiar, con la ventaja adicional de que los tanques de lavado permiten la recuperación del 98% de ese dióxido de carbono.

¿Y los plásticos?

Uno de los principales problemas que enfrenta nuestra sociedad es la dependencia de los artículos de plástico, que afectan al ambiente porque duran muchos años en el sin degradarse. De hecho, la mayoría de los plásticos han sido diseñados para durar más que los materiales a los que sustituye: metal, papel, vidrio y cerámica, entre otros. Reciclar y reutilizar plásticos son dos acciones acordes con el enfoque de la química verde, pues contribuyen a conservar el ambiente y reducir el uso de materias primas no renovables.

En nuestro país, por ejemplo, ya se recicla el PET (*politereftalato de etileno*, un tipo de plástico con el que se fabrican botellas de agua o refresco) para hacer tapetes, ropa o nuevas botellas. De hecho en el Estado de México tenemos la planta de reciclaje de PET para envases de alimentos más grande de América Latina y la segunda a nivel mundial (lo que es un avance importante, porque antes no se podía reciclar PET para nuevas botellas, solamente para textiles; de esta manera, el ahorro es mucho mayor y el consumo de materias primas disminuye considerablemente). Además, en el Estado de Jalisco se puso en marcha en febrero del 2011 la primera planta de reciclaje de polietileno



Tetracloroetileno.

del país, de un total de ocho que se tienen proyectadas.

En cuanto a la reutilización, en la actualidad en México hay dos proyectos para emplear las botellas de PET como materiales de construcción. En el primero, conducido por el Dr. José de Jesús Pérez Bueno, del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica de Baja California, se usan las botellas y las bolsas de polietileno rellenas de tierra, extraída del sitio de construcción, para colocar los cimientos de una casa. Con estos materiales se levantan también los muros y el techo de la casa, y los huecos se cierran con cemento. El Dr. Pérez Bueno informa que en el prototipo construido se emplearon 5000 botellas para los muros y 1000 para el techo. En el techo las bolsas —provenientes de tiendas o de la basura— se utilizaron para impermeabilizar, con lo que se logró una casa agradable, económica y ambientalmente amigable.

En el segundo proyecto, el PET se funde y se hacen bloques para construcción de casas parecidos a los de los juegos de *Lego*. En Lerma, Estado de México, se está construyendo una unidad dentro del programa Hipoteca Verde empleando esta tecnología; también se han realizado construcciones similares en Chiapas, Guanajuato, Aguascalientes y Oaxaca. Cabe mencionar que otra empresa (Adoquiplastic de México) elabora adoquines de PET reciclado, con buenos resultados.

MÁS INFORMACIÓN

- Colonna, Paul, *La química verde*, Acirbia Editorial, España, 2010.
- www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/438/cap3.html

Futuro verde

Como hemos visto, la química verde intenta eliminar el problema desde la raíz, evitando la formación de los residuos peligrosos, en lugar de sólo lidiar con sus efectos. Pero las ventajas de la química verde no son únicamente ambientales; la utilización de materias primas renovables y de procesos más eficientes puede significar costos reducidos en la manufactura de productos comerciales, lo que beneficiaría económicamente tanto a la industria como al consumidor. Además, la revisión de los procesos químicos convencionales puede llevar no sólo a obtener más producto con menos materia prima o costo de energía, sino que pueden encontrarse maneras de obtener sustancias que con el método convencional eran imposibles. Por poner un ejemplo, el proyecto ganador del Premio a los Caminos de Síntesis Verde entregado por la EPA en el 2009 consiste en mejorar el proceso de síntesis de ésteres (productos de la reacción entre ácidos orgánicos y alcoholes) para la industria de los cosméticos utilizando enzimas en lugar de ciertos catalizadores y sin necesidad de usar altas temperaturas (lo que reduce el costo energético). Además, al reducir la temperatura de la reacción se hace posible obtener ésteres de materias primas que con la reacción original eran inutilizables, dando como resultado cientos de nuevos ésteres que podrían tener aplicaciones distintas a los empleados anteriormente. Así, vemos que la química verde no solamente busca aprender de los errores del pasado, corregirlos y evitarlos; podría también permitirle al ser humano seguir andando hacia el futuro sin sacrificar su calidad de vida ni la de su entorno. 🐼

Benjamín Ruiz Loyola es profesor de tiempo completo en la Facultad de Química de la UNAM, es colaborador de *¿Cómo ves?* y ha escrito más de 80 artículos de divulgación en distintos medios impresos y electrónicos.

Jorge Benjamín Ruiz Gutiérrez es Licenciado en Ciencias de la Comunicación, diseñador y divulgador independiente. Actualmente cursa el Diplomado en Divulgación de la Ciencia en la DGDC de la UNAM.



Pared de un invernadero hecha con botellas de PET.

Foto: Carl Schofield

Actividades de aprendizaje

Estrategia I. La química verde

I. Activación de conocimientos previos

Para explorar tus **conocimientos previos** sobre el tema, contesta de forma individual las siguientes preguntas:

1. ¿Qué entiendes por química verde?
2. Revisa el título, los subtítulos, los recuadros e imágenes presentes en el texto y contesta la siguiente pregunta: ¿de qué crees que hablará el artículo "La química verde"?
3. Efectúa una lectura exploratoria de forma individual del texto. Como una primera aproximación, ¿cuál consideras que es la relación de este material de lectura con el estudio de la química en general?

4. Después de la lectura, identifica las **palabras, conceptos o frases** que no entiendas; anótalos en el cuadro siguiente¹:

¹Se recomienda discutir en plenaria las respuestas de los estudiantes a los reactivos 3 y 4 de esta sección, pues resultarán clave en el proceso de autorregulación del aprendizaje. Asimismo, conviene analizar la información recopilada de manera general sobre los conocimientos previos, ya que constituye un indicador relevante para el seguimiento del aprovechamiento escolar.

Exploración de palabras y frases que generan dudas en el texto	
Palabras, frases o conceptos	Enunciados o frases en los que se inserta la palabra o el concepto (contextualización)

II. Análisis de contenidos

En esta sección, los alumnos analizarán los contenidos más relevantes, presentes en el material de lectura seleccionado, con la guía del profesorado².

Los **supuestos** son formulaciones mentales comunes y tienen que ver con intuir o suponer lo que hay detrás de los hechos o sucesos cotidianos. Seguramente, la lectura del texto te permitió realizar algunos supuestos en torno a la química verde. Para darles seguimiento, contesta las siguientes preguntas.

² Para las actividades de esta sección, se recomienda el trabajo cooperativo y colaborativo en pequeños grupos. Con ello, se fomenta el diálogo, la interacción, la construcción de acuerdos y la responsabilidad en el trabajo escolar.

5. Desde tu perspectiva, ¿en qué radica la importancia de la temática abordada en el texto divulgativo?
6. Expliquen dos cosas que comprendan o dominen con seguridad que se mencionan en el artículo "La química verde":

A.
B.

Otro aspecto esencial en todo proceso de análisis textual es detectar **el problema** o **idea central** presente en un material de lectura. Para llevar a cabo esta labor con el artículo efectúen lo siguiente:

7. Lean nuevamente y con mayor detenimiento el artículo e identifiquen una o dos ideas centrales de cada apartado o subtítulo presente en el texto. Recopilen su información en la siguiente tabla.

Apartado	Idea principal
▪ Doce principios (recuadro).	
▪ En la vida diaria.	
▪ ¿Y los plásticos?	
▪ Futuro verde.	

8. Después de leer detenidamente la publicación divulgativa, ¿cuál es la idea central de este texto? En otras palabras, ¿cuál es el tema principal del que se habla en el artículo? Guía tu respuesta redactándola con tus propias palabras. Puedes empezar así:

El artículo "La química verde" habla/expone/evidencia/presenta...
Lo anterior se sustenta en que el texto...

Todo texto es tan sensato, objetivo y veraz como la información en que está basado. Las preguntas siguientes permitirán identificar **datos, evidencias y respaldos** que utilizan los autores al presentar diferentes aspectos sobre la química verde.

9. En la siguiente tabla enlista la **información científica** (publicaciones especializadas, evidencia empírica —experimentos— y datos) que se mencionan en el texto divulgativo al comunicar diferentes aspectos sobre el tema.

Información que respalda el contenido del texto	
Publicaciones hechas por científicos o especialistas.	
Experimentos (procesos de síntesis alternativos de sustancias químicas).	

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Datos y/o cifras. | |
|---|--|

10. A partir del análisis que se ha hecho de la publicación revisada en clase, ¿consideran que existe coherencia entre los subtítulos, las imágenes y los recuadros que acompañan al texto con el contenido y la forma de presentar la información en el artículo divulgativo? Justifiquen su respuesta.

Consideramos que existe/no existe congruencia entre los elementos que acompañan al texto (incluir título del artículo, entrecomillado), de (autor/es), con el contenido y la forma de presentar la información porque...

La formulación de **inferencias** es otra habilidad básica asociada con la comprensión lectora y el pensamiento crítico. Una forma de dar seguimiento a este tipo de constructos cognitivos es mediante el reconocimiento del posicionamiento del autor con respecto al tema abordado en el texto, la construcción de argumentos y la formulación de cuestionamientos. Las siguientes actividades tienen como finalidad la formulación de inferencias sobre el texto trabajado en clase.



Imagen 4. El trabajo colaborativo y el uso de recursos digitales motivan el trabajo escolar. Estudiantes del CCH-Sur, 2018.

11. A partir de lo leído, ¿cuál es el posicionamiento del autor sobre el tema? Descríbelo brevemente con tus propias palabras. Toma como guía de tu redacción lo siguiente:

Considero que la posición que los autores de “La química verde” toman en su texto es... lo anterior lo sustento en...

12. En la siguiente tabla enuncia un argumento a favor del posicionamiento del autor y otro en contra. Es importante que el argumento esté basado en información objetiva y veraz, además de estar redactado de forma clara y coherente. Para la redacción de los argumentos solicitados toma como guía el encabezado de cada columna de la tabla, así como la frase introductoria.

Argumento a favor del posicionamiento del autor	Argumento en contra del posicionamiento del autor
Considero que el posicionamiento del autor es válido/loable/novedoso/interesante/importante... porque...	Considero que el posicionamiento del autor es inválido/ no se sustenta/controversial/poco relevante... porque...

Otro aspecto clave en todo proceso de análisis textual estriba en identificar el **propósito que busca cumplir un texto**, esto es el motivo por el cual los autores lo escribieron y difundieron por medio de una editorial específica.

- Redacten un breve párrafo que dé respuesta a las siguientes dos preguntas: ¿por qué creen que los autores escribieron el artículo “La química verde”? ¿Cuál es la intención o propósito que busca generar en el público lector este texto? Pueden iniciar de la siguiente manera:

El propósito de este artículo de divulgación científica es... Lo anterior se sustenta en la siguiente información...

III. Problematicación del texto divulgativo

En esta sección se abordarán aspectos conceptuales y contextuales que guardan relación con la química verde. Esto con el propósito de robustecer su comprensión y proporcionar elementos que favorezcan la adquisición de una posición informada sobre el tema.

3.1 Problematicación conceptual

Actividad experimental: Descomposición del agua oxigenada empleando dos catalizadores

Objetivos

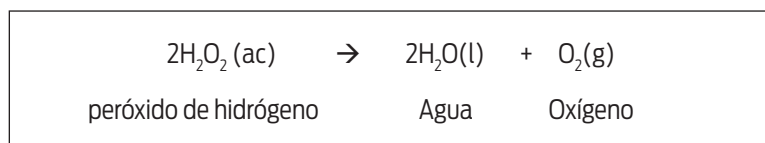
- Los alumnos efectuarán la reacción de descomposición del agua oxigenada usando dos catalizadores, el óxido de manganeso IV (MnO_2) y la enzima catalasa (presente en algunos vegetales como la papa).
- Los estudiantes compararán la efectividad de estas dos reacciones y argumentarán cuál de los dos procesos químicos efectuados se puede considerar más verde.

Introducción

El agua oxigenada es una sustancia compuesta, cuyo nombre químico es peróxido de hidrógeno. Comúnmente, se emplea como antiséptico, blanqueador de telas y reactivo analítico en la fabricación de diversos fármacos. Su fórmula química es H_2O_2 y es un compuesto altamente polar, que se caracteriza por su acción oxidante. En disolución produce iones de hidróxido $[\text{OH}^-]$ y radicales libres, que atacan una amplia variedad de compuestos orgánicos, entre ellos, lípidos y proteínas que componen las membranas celulares.

El H_2O_2 es relativamente estable a temperatura ambiente, pero con un ligero incremento de temperatura o acción de la luz solar se descompone con facilidad, formando oxígeno. Por ello, se comercializa en envases opacos y con sellado reforzado. Además de los factores antes mencionados, varias sustancias pueden acelerar el proceso de descomposición de esta sustancia al actuar como catalizadores. Entre ellas se encuentran los óxidos y sales metálicas, algunos hidróxidos e inclusive enzimas.

A continuación, se muestra la reacción de descomposición del H_2O_2 :



Los catalizadores son sustancias químicas que incrementan la rapidez de una reacción sin ser autoconsumidos y sin alterar los productos finales de esta. Tal efecto se logra disminuyendo la barrera energética que se debe superar para que los reactivos se transformen en productos en un proceso químico. A esta barrera energética se le denomina energía de activación (E_a). Al disminuir la E_a , los catalizadores permiten que las velocidades de las reacciones se incrementen; cuestión que posibilita trabajar en condiciones experimentales menos exigentes o rigurosas y, al mismo tiempo, favorece la producción de sustancias específicas.

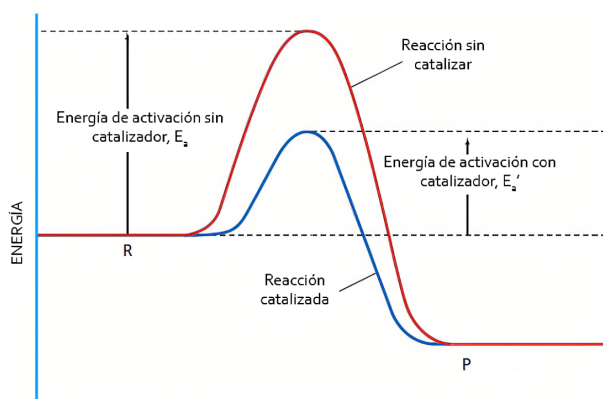


Imagen 5. Diagrama energético comparativo de un proceso químico sin catalizar (rojo) y catalizado (azul). Disponible en <https://cutt.ly/zm5fFUA>

Como revisaste en el artículo divulgativo, la química verde es un área de conocimientos de frontera enfocada en el diseño, la producción y el uso de productos químicos que permitan reducir la contaminación que provocan los métodos o enfoques químicos tradicionales. En esta línea de investigación, los catalizadores son usados no solamente para incrementar la velocidad de reacciones químicas específicas, sino también para aminorar el consumo energético, sustituir algunas sustancias tradicionales por otras menos tóxicas, economizar procesos, así como crear condiciones de trabajo más accesibles y menos riesgosas. En otras palabras, para optimizar el trabajo experimental que realizan los químicos.

En esta actividad experimental se abordará uno de los principios más representativos de la química verde: la catálisis. Para ello, efectuarán la reacción de descomposición

del agua oxigenada, usando dos catalizadores: uno tradicional, el óxido de manganeso IV (MnO_2) y otro natural, la enzima catalasa —presente en algunos vegetales ricos en almidón como la papa—. Compararán la efectividad de estas dos reacciones y argumentarán cuál de las dos reacciones se puede considerar más verde.

Materiales y sustancias

Materiales	Sustancias
1 balanza digital	H_2O_2
1 espátula	MnO_2
1 vidrio de reloj	1 papa sin cáscara, partida en trozos pequeños
2 matraces Erlenmeyer de 25mL	
2 vasos de precipitado de 25mL	
2 probetas de 10mL	
2 cápsulas de vidrio	



Imagen 6. Aspecto de las sustancias y materiales empleados en la actividad experimental.

Procedimiento

Descomposición de H_2O_2 con MnO_2 :

- i. En un matraz Erlenmeyer de 25mL, coloca 10mL de peróxido de hidrógeno comercial (30% en masa).
- ii. Pesa 0.1g de MnO_2 previamente triturado (para favorecer el área de contacto) y agrégalo lentamente al matraz Erlenmeyer con H_2O_2 .
- iii. Enciende un cerillo, acerca la llama a la boca del matraz y observa lo que sucede.
- iv. Documenta tus observaciones en la tabla 1 de la sección de resultados.

Descomposición de H_2O_2 con la enzima catalasa (papa):

- v. En un matraz Erlenmeyer de 25mL añade 3 o 4 trozos pequeños de papa, sin cáscara.
- vi. Agrega al matraz 10mL de agua oxigenada comercial.
- vii. Enciende un cerillo, acerca la llama a la boca del matraz y observa lo que sucede.
- viii. Documenta tus observaciones en la tabla 1 de la sección de resultados.

Resultados

En la siguiente tabla redacta las observaciones más importantes de las dos reacciones de esta actividad experimental. Menciona también, la evidencia que te permitió corroborar la formación de oxígeno.

Tabla 1. Resultados de los procesos efectuados sobre la descomposición de H_2O_2	
Reacción	Observaciones (Evidencias experimentales que apoyen la formación de O_2)
Descomposición de H_2O_2 con MnO_2	
Descomposición de H_2O_2 con la enzima catalasa (papa)	

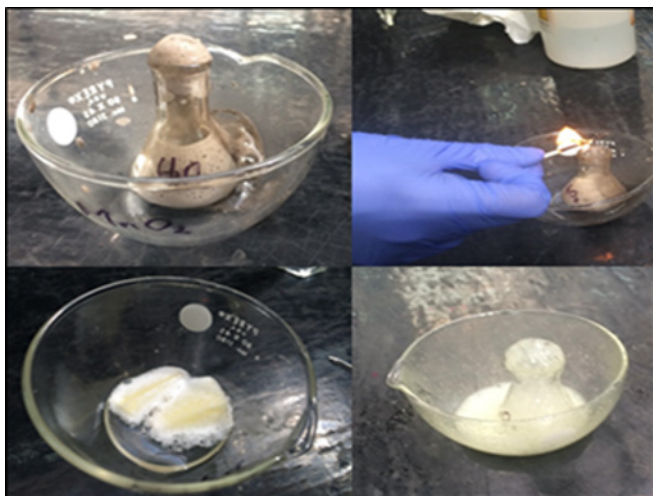


Imagen 7. Parte superior, reacción de descomposición de H_2O_2 con MnO_2 . Parte inferior, reacción con la enzima catalasa

Manejo de residuos

- No tiren a la tarja el producto obtenido de la descomposición del agua oxigenada con el óxido de manganeso (IV), ya que el MnO_2 es una sustancia tóxica. Colecten el producto de esta reacción en un contenedor específico que les proporcionará el profesor, para que los residuos sean tratados por especialistas.
- Los productos obtenidos con la papa no son tóxicos; se pueden desechar en la tarja sin ningún problema.

Análisis de resultados

A partir de lo observado en la actividad experimental, resuelve el siguiente cuestionario, que te servirá para reforzar los aprendizajes conceptuales.

14. Escribe la reacción química de la descomposición del agua oxigenada.

15. En las dos reacciones efectuadas, ¿cuál es la función del MnO_2 y de la enzima catalasa? ¿Pueden llevarse a cabo las reacciones sin estas sustancias? Justifica tu respuesta.

16. Regresa al texto divulgativo y lee con atención el recuadro que muestra los 12 principios que dan sustento

a la química verde. Enumera y describe los principios que son aplicables a las dos reacciones efectuadas.

Tabla 2. Relación de los principios de la química verde con las reacciones efectuadas	
Descomposición de H_2O_2 con MnO_2	Descomposición de H_2O_2 con la enzima catalasa (papa)
Principios que cumple de la química verde:	Principios que cumple de la química verde:

17. Con base en la información que recopilaron en la tabla anterior, ¿cuál de las dos reacciones efectuadas es más verde? Justifiquen su respuesta.

3.2 Problematicación contextual

En esta sección, los alumnos indagarán sobre una de las rutas de acción sustentable más conocidas en la actualidad: el reciclaje de botellas de PET. Esto con la finalidad de que infieran la relación existente de este proceso con algunos de los postulados que dan sustento a la química verde.

El reciclaje del PET en México

Un ejemplo en el que confluyen los principios de la química verde en el campo del desarrollo sostenible es en el reciclado, cuyo

objetivo es convertir desechos industriales en nuevos productos o en materias primas reutilizables. Una ruta que ha cobrado fuerza en las últimas décadas es el reciclado de botellas de plástico elaboradas con el polímero PET (tereftalato de polietileno), un curso de acción que contribuye a reducir la contaminación del suelo, de los cuerpos de agua y a su reutilización. En la siguiente infografía se muestran datos relevantes en torno al reciclaje del PET.



Imagen 8.

Infografía sobre el reciclado de botellas de plástico (Ecopuma, 2018). Disponible en: <https://ecopuma.unam.mx/descargas.php>

¿Qué es el PET?

PET son las siglas de un polímero cuyo nombre químico es polietileno tereftalato ($(C_{10}H_8O_4)_n$), el cual se obtiene mediante la reacción de policondensación entre el ácido tereftálico ($C_8H_6O_4$) y el etilenglicol ($C_2H_6O_2$).

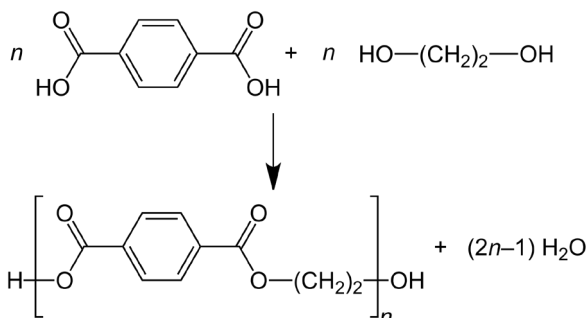


Imagen 9. Reacción de obtención del polímero PET. Disponible en: <https://cutt.ly/sm5gbjM>

El PET es utilizado principalmente como fibra textil y como un tipo de plástico en el envasado de alimentos. En el ramo de los textiles, comenzó a utilizarse durante la Segunda Guerra Mundial para remplazar fibras naturales como el algodón o el lino por poliéster (nombre común del PET textil). Entre sus cualidades se encuentra su alta resistencia a la deformación y fácil cuidado de la prenda al lavado y secado.



Imagen 10. El reciclaje del polímero PET es uno de los procesos de reciclamiento más exitosos. Disponible en: <https://cutt.ly/BQacPmP>

Como plástico, su producción se remonta a la segunda mitad de la década de los setenta. Entre sus propiedades se puede mencionar su alta resistencia a agentes químicos, ligereza, transparencia, manejabilidad, inocuidad y bajo costo. Cualidades que en poco tiempo lo consolidaron como el plástico más usado en la comercialización de bebidas. Hoy en día, este material ha sustituido casi por completo el uso del vidrio en la industria alimenticia, pero su exacerbado uso está generando severos problemas ambientales. Al ser desechado por la población de manera irresponsable, se convierte en un residuo que contamina los cuerpos de agua y superficies de suelo. Otro problema que conlleva el uso del PET estriba en que es un material que tarda cientos de años en degradarse en la corteza terrestre. Sin embargo, el PET es un polímero que se puede reciclar y reutilizar fácilmente; una estrategia que está contribuyendo a reducir significativamente sus repercusiones negativas en el medio ambiente.

Breve investigación documental

En la siguiente actividad, los estudiantes llevarán a cabo una pequeña investigación documental sobre el proceso de reciclaje del PET. Posteriormente, presentarán los resultados más significativos obtenidos en un espacio de discusión conducido y regulado por el docente.

Organizados en equipos, los alumnos investigarán en portales electrónicos de agencias informativas de relevancia nacional o en sitios web divulgativos, varios aspectos relacionados con el reciclaje del PET³. El docente asignará a cada equipo uno de los ejes temáticos descritos en los siguientes incisos, para llevar a cabo su investigación:

- a) Estado del reciclaje del PET en México (datos y cifras relevantes).
- b) Beneficios económicos e industriales asociados con el reciclaje del PET.
- c) Beneficios ambientales asociados con el reciclaje del PET.
- d) Relevancia del reciclaje del PET en la campaña de las 3R (reducir, reciclar y reutilizar).
- e) Acciones relacionadas con el reciclaje del PET que se llevan a cabo en la UNAM.

³ Es importante que se consulten sitios ampliamente reconocidos en el ámbito periodístico y divulgativo, esto para contar con información lo más veraz y objetiva posible.

Escenario de discusión grupal

Los estudiantes exponen la información obtenida en la actividad anterior en un pequeño foro de discusión, conducido y supervisado por el docente. En este, los jóvenes deben compartir ideas, observaciones y puntos de vista. Esta actividad permitirá autorregular sus aprendizajes sobre el proceso del reciclaje del PET y su relación con la metodología verde. Se les solicita que sintetizen la información discutida en una tabla.

18. En la siguiente tabla, resuman y organicen los resultados de la investigación documental desarrollada en clase sobre el reciclaje del PET.

Tabla 3. Información relevante sobre el proceso de reciclaje del PET	
Rubro	Información
Lugar que ocupa México en el reciclaje de PET y cantidad de botellas de este material que se reutilizan anualmente.	
Ventajas económicas e industriales asociadas con el tratamiento de botellas de PET.	
Beneficios ambientales que genera el reciclaje del PET.	
Proceso de reciclaje del PET en el contexto del programa de las 3R (reducir, reciclar y reutilizar).	

Función del programa Ecopuma de la UNAM y papel que juega el reciclaje del PET.	
--	--

19. Revisen nuevamente el recuadro en el que se exponen los doce principios de la química verde. Posteriormente, argumenten qué principios de la química verde guardan relación con el proceso del reciclado del PET en una redacción de no más de diez renglones.

Los principios de la química verde que guardan relación con el proceso del reciclado del PET son los siguientes... y cada uno se refiere a...

20. A la luz de todo el trabajo emprendido sobre el tema central expuesto en el texto divulgativo, redacten una breve conclusión (de no más de 10 renglones) sobre el valor que posee el estudio de esta temática en particular en su formación científica en el Colegio.

IV. Producto final. Elaboración de un tríptico

Como producto final, se sugiere solicitar a los estudiantes la elaboración de forma individual, de un tríptico sobre química verde. Ello con el objetivo de dar seguimiento a los aprendizajes generales construidos durante este proceso de lectura crítica.

El tríptico

Un **tríptico** es un documento o folleto en el cual se sintetiza información relevante para ser difundida entre pares o para un público específico. Generalmente, la información que contiene parte de aspectos generales y, gradualmente, se concreta en aspectos específicos sobre una temática en cuestión. Los trípticos más comunes están conformados por una hoja doblada en tres partes, lo que da lugar a seis caras, sitios o espacios para organizar la información.

¿Qué es Wikipedia?

Imagina un mundo en el cual cada persona tiene acceso libre a la suma de todo el conocimiento humano. Eso es lo que estamos haciendo.

Wikipedia es una enciclopedia que puede ser leída y editada por cualquier persona

Un proyecto internacional

Wikipedia comenzó como un proyecto en idioma inglés, el 15 de enero de 2001. Pronto se le unieron ediciones en francés, alemán, español, portugués y otra gran cantidad de idiomas, desarrollándose enormes esfuerzos para destacar la naturaleza internacional del proyecto. Si bien la edición en inglés, con casi 600.000 artículos, sigue siendo la Wikipedia más desarrollada, hay más de 800.000 artículos en otros 130 idiomas, algunos muy desarrollados y otros recién iniciados.

Ninguna persona sabe todo, pero cada persona sabe algo.

Wikipedia fue fundada en la creencia de que cada persona posee algún conocimiento que puede compartir con los demás. El rango etario de nuestros editores va desde los siete a los setenta años y más, aportando su pequeña semilla para ayudar a que Wikipedia sea el

esfuerzo colaborativo educacional más completo jamás visto. Creemos que cada persona tiene el derecho de aprender, pero que también tiene algo que puede (y debe) enseñar a los demás.

¿Quiénes pertenecen a la comunidad Wikipedia?

En Wikipedia, cualquiera puede crear o modificar un artículo instantáneamente, por lo que ningún artículo tiene un único autor. En su lugar, decenas y a veces cientos de personas trabajan en conjunto, compartiendo sus conocimientos para editar y mejorar el contenido de cada artículo. El resultado es un "trabajo en desarrollo" sin fecha de término, haciéndose cada vez más minucioso y de mejor calidad.

Quiénes contribuyen en Wikipedia pueden crear una cuenta con nombre de usuario y contraseña, pero no es obligatorio. Algunos de nuestros mejores artículos provienen de usuarios anónimos, muchos de los cuales sólo están de paso y se dan cuenta de que hay algún detalle que pueden mejorar. Muchos de ellos se sienten atraídos y comienzan a integrar la comunidad de voluntarios de Wikipedia. Nuestra política de punto de vista neutral fomenta el trabajo conjunto de personas con culturas e historias diferentes. Cuando aparecen diferencias, tenemos mecanismos para resolverlos amistosamente.

"¡Puedes editar esta página ahora mismo!"

La clave en el éxito de Wikipedia es el innovador software conocido como "wiki". Creado por Ward Cunningham en 1995, este software hace posible crear sitios web descentrados, en los que todos los usuarios pueden editar una página rápida y fácilmente, usando su navegador web. Es fácil. Es rápido. ¡Es un wiki!

El lenguaje wiki, conocido como wikitexto, es mucho más simple que el HTML. Es muy

intuitivo, por lo que cualquiera puede aprenderlo en sólo unos minutos. Por ejemplo, para colocar un texto en cursiva, sólo enciérralo en dos apóstrofes; utiliza tres para destacarlo en negritas; y encierra una palabra en dos llaves cuadradas (**{|}**) para crear un enlace. El software usado por Wikipedia se llama Mediawiki y fue desarrollado teniendo en mente el objetivo específico de crear una enciclopedia. Hoy, el software Mediawiki se distribuye bajo una Licencia Pública General (GPL, en inglés). Es utilizado por muchos otros wikis, aunque Wikipedia sigue siendo la mayor wiki existente.



¿Cómo me convierto en wikipedista?

Fácil. Todo lo que tienes que hacer es visitar nuestro sitio y comenzar a editar. Estamos seguros de que volverás una y otra vez al fenómeno mundial de mayor crecimiento en Internet!

La licencia de documentación libre GNU

Todo el material original aportado a Wikipedia es considerado como contenido libre bajo la licencia de documentación libre GNU. Esto significa que todo nuestro contenido puede ser usado libremente, editado libremente y copiado libremente, siempre sujeto a las restricciones de dicha licencia.

Imagen 11. Ejemplo de un tríptico. Disponible en: <https://cutt.ly/BQixXojs>

Como se puede observar, el tríptico presenta la información acerca de un tema, acompañada de imágenes, para hacer más dinámico el contenido. Incluso, la información puede presentarse esquematizada.

¿Cómo se realiza un tríptico?

Elaborar un folleto o tríptico implica el uso de un programa de diseño o una aplicación. En la paquetería de Office puedes utilizar Publisher, o bien, buscar algunas plantillas prediseñadas en internet o emplear alguna de las muchas aplicaciones disponibles en la red, como Canva, o Flipsnack. También lo puedes hacer a mano, pero todo dependerá de las indicaciones del docente. Puesto que los trípticos cuentan con un espacio limitado para presentar la información, es necesario que la selecciones con cuidado y la redactes de manera precisa y clara, pues ésta habrá de acompañarse de imágenes alusivas al tema en cuestión. También considera la selección de colores y marcos en el diseño y el uso de recuadros o viñetas que destaquen la presentación, sin que resulten chocantes, sobrecargados o con escasa legibilidad. Finalmente, recuerda que menos es más, por lo que el uso de un lenguaje sencillo y directo favorece la información.

Considera los siguientes lineamientos en la elaboración de tu tríptico:

1. Dedicar un tiempo para planificar el contenido que presentarás y, de ser posible, haz un borrador o diseño previo.
2. Elige alguna plantilla, de las muchas que se pueden encontrar en la red, o diseñala de acuerdo con el objetivo central de la información.
3. Selecciona las imágenes que incluirás, procurando que guarden relación directa con el contenido.
4. En general, cualquier tríptico puede contener la siguiente estructura:
 - Institución (si es el caso).
 - Título.
 - Autor(es).
 - Introducción: presenta los aspectos generales del tema que habrá de desarrollarse.
 - Desarrollo: alude a los aspectos concretos solicitados.
 - Conclusión: destaca la relevancia, trascendencia o importancia del tema; también puede incluir una reflexión personal.
 - Referencias. incluye las fuentes consultadas para la realización del trabajo en formato APA.

Si deseas saber más acerca de cómo realizar un tríptico o folleto, puedes consultar el siguiente enlace, o bien, consultar algún video para su realización:

- Cómo iniciar la elaboración de un folleto con Publisher. Retos Educatic. UNAM: <https://bit.ly/3iT54oy>

BUENAS PRÁCTICAS

- Respetar la fauna en su hábitat
- Respetar la flora y su medio natural
- No se permite el uso de fuego
- No se permite el uso de perros
- No se permite el uso de bicicletas
- No se permite el uso de mascotas

TRÁCTICO
Circular

LONGITUD
6,7 km

TIEMPO ESTIMADO
2 horas

DIFICULTAD
Baja

TIPO CAMINO
Carri o senda

PROBLEMAS/DESCRIPCIÓN
Llevar agua, ropa adecuada, calzado adecuado. Cerciorarse de la posibilidad del agua de las fuentes. Ser precavidos en las inmediaciones de la carretera.

SOMBRA
Poca o nula

AUTOMATIZACIÓN ESPECIAL
No se necesita

RECOMENDACIONES
Llevar agua potable y vestimenta y calzado adecuados. Cerciorarse de la posibilidad del agua de las fuentes. Ser precavidos en las inmediaciones de la carretera.

PROYECTO / MUNICIPIOS
Almería / Almería

MÁS DEL MIRA
150.000

COORDENADAS INICIO / FIN
36° 40' 6,212"N - 2° 10' 10,910"E

CÓMO LLEGAR
Tomar el desvío al Centro de Visitantes Las Amoladeras en la carretera entre Níjar y Cabo de Gata (A-307), a la altura del kilómetro veintidós. A unos cuarenta metros de la carretera encontraremos el aparcamiento del centro, justo al que se inicia el sendero.

APARCAMIENTO
Hay un aparcamiento con unos 10 plazas al inicio del sendero, a unos 10 metros del centro de visitantes.

TRANSPORTE PÚBLICO
Las principales empresas concesionarias de las líneas regulares de autobuses en la zona son ALSA, Alisa Granda (tel. 902 42 12 40; www.alsa.es), Autolinea Bermejo (tel. 952 25 9432; www.autolineabermejo.com) y Trófea (tel. 952 28 8411; www.trofea.com).

OTROS SENDEROS
El parque natural tiene una amplia oferta de senderos señalizados. El más próximo es El Pucio - Las Llanas. El sendero de gran recorrido GR 165 parte del núcleo Cabo de Gata hacia Níjar y Sierra Nevada.

PERFIL DEL RECORRIDO

PLANTAS DE AQUÍ Y DE ALLÁ
La suelta de las pías con sus espectaculares inflorescencias -maltabón, tablon, pión o picao- es ahora una marca fundamental del paisaje de todo el sureste andaluz, y particularmente en esta zona que recorremos. Un embargo este agave no es una planta autóctona, ya que procede de México y fue introducida masivamente en estas tierras como cultivo en los años 50, para la obtención de fibras de cordelería. Como la chumbera, también americana se guelma o se para en muchos usos, la pita no forma parte del rico elenco natural de plantas que adornan estas tierras andaluzas, pero se naturalizan y se propagan con sencillez, aunque los cultivos desaparecieron por la inextinguible competencia de las fibras sintéticas.

Imagen 12. Ejemplo de tríptico. Disponible en: <https://tinyurl.com/yeap7jd>

Para la elaboración del tríptico solicitado, se recomienda que los alumnos sigan las siguientes indicaciones:

Contenido del tríptico sobre la química verde

- **Cara 1.** Carátula. Se sitúa en una de las caras visibles y contiene el título del trabajo o tema (“La química verde”) y una imagen alusiva.
- **Cara 2.** Introducción general del tema en el cual se explica qué es la química verde y su importancia disciplinar.
- **Cara 3.** Relevancia educativa del tema. En esta sección

desarrollar cómo contribuye esta temática al estudio de la química en el Colegio.

- **Caras 4 y 5.** Breve descripción de un caso de la vida cotidiana (reciclado, adquisición de hábitos y/o realización de actividades prosostenibles) que tenga relación o pueda ser justificado con uno o algunos de los principios de la química verde. En la cara cinco incluir las conclusiones.
- **Cara 6.** Referencias consultadas. Listar tres fuentes que consultaron, en formato APA. En la parte inferior incluye los datos del autor(a): nombre, institución, asignatura, grupo y fecha de elaboración.

Coevaluación del tríptico

Nombre: _____ Grupo: _____ Fecha: _____ Coevalúa: _____

Instrucciones: Intercambia, lee y coevalúa el tríptico de uno de tus pares empleando esta lista de cotejo.

Categoría	Número	Criterio	Cumple		Observaciones de cada aspecto
			Sí	No	
Contenido	1	Los apartados contienen subtítulos.			
	2	Hay coherencia (el desarrollo de todo el trabajo gira en torno a un tema) y cohesión (las ideas se relacionan entre sí).			
	3	Contiene información puntual y precisa sobre el tema.			
	4	Presenta referencias consultadas, debidamente consignadas, según el estilo requerido (formato APA).			
	5	La información contiene palabras clave.			
Estructura	6	Desarrolla una estructura de introducción-desarrollo-conclusión.			
	7	Respeto el acomodo de la información, según lo solicitado en cada cara.			
	8	Las imágenes incluidas se relacionan con el contenido.			
Estilo	9	Hay menos de cinco errores ortográficos.			
	10	Maneja un lenguaje especializado, propio del tema que desarrolla.			

Referencias consultadas

- Becerra, L. (2017, 10 de octubre). “¿Ya sabes de los 12 principios de la química verde?” México: Analitek. Disponible en: <http://blog.analitek.com/12-principios-de-la-qu%C3%ADmica-verde>
- Brown, T., Lemay, E., Bursten, B. y Murphy, C. (2014). *Química. La ciencia central*. Ciudad de México: Pearson Educación.
- Cassany, D. (1999). *Construir la escritura*. Barcelona: Paidós.
- Castelló, M. (coord.) (2007). *Escribir y comunicarse en contextos científicos y académicos*. Barcelona: Graò.
- Durán, D. (2012). “El problema logístico de la recolección de PET en México. *Revista UPIICSA*, XX, VIII, 58, 40-52.
- Ecopuma, Universidad Sustentable. (2019). *Separa. Recicla. Mejora tu mundo (botellas de plástico)*. Ciudad de México: UNAM. Disponible en: https://ecopuma.unam.mx/PDF/SECCIONES/RESIDUOS/Info_petypead.pdf
- ENCCH. (2016). Programas de estudio de Ciencias Experimentales: Química III-IV (Actualizado). Ciudad de México: CCH-UNAM. Disponible en: http://www.cch.unam.mx/sites/default/files/programas2016/QUIMICA_III_IV.pdf
- Lomas, C. (1999). *Cómo enseñar a hacer cosas con las palabras*. Vol. 1. Barcelona: Paidós.

- Meinguer, J. y Pérez, M. C. (2021). “Desarrollo y evaluación de elementos de pensamiento crítico sobre la química verde en el bachillerato”. *Investigación en la Escuela*. 103, 106-124. Disponible en <https://doi.org/10.12795/IE.2021.i103.08>
- Morales, M., Martínez, J., Reyes, L., Martín, O., Arroyo, G., Obaya, A. y Miranda, R. (2011, julio). “¿Qué tan verde es un experimento?”. *Educación química*, 22(3), 240-248. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v22n3/v22n3a9.pdf>
- Rodríguez, B. (2018). “Enseñanza de la química sostenible en las carreras de ingeniería”. *Revista de Química PUCP*, 32(1), 2-17.
- Ruiz Loyola, Benjamín y Benjamín Ruiz, Gutiérrez, “La química verde”, publicado en *¿Cómo ves?*, Año 13, Núm. 150, pp. 30-33, UNAM, Cd. de México 2011.
- Sierra, A., Meléndez L. y Arroyo, M. (2014, julio-diciembre). “La química verde y el desarrollo sustentable”. *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 5(9). Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4981/498150317001.pdf>

Lectura 2:

Oro, plata y cobre

QUÍMICA III

UNIDAD 2. DE LOS MINERALES A LOS METALES: PROCESOS QUÍMICOS, USOS E IMPORTANCIA

Estrategia II. Propiedades fisicoquímicas de los metales

Presentación

En esta estrategia se ofrecen aspectos históricos y conceptuales relacionados con las propiedades fisicoquímicas de los metales; principal eje temático de la segunda unidad del curso de Química III. Con la revisión y problematización del artículo divulgativo sobre este tema, se pretende cubrir los siguientes aprendizajes:

El alumno:

- A6. Identifica a las reacciones de obtención de metales como reacciones REDOX, y utiliza el lenguaje simbólico para representar los procesos mediante ecuaciones, a partir del análisis e interpretación del trabajo experimental (ENCCH, 2016, p. 21).
- A7. Reconoce una reacción REDOX por el cambio en los estados de oxidación de las especies participantes, e identifica al agente oxidante y al agente reductor, al escribir y analizar las ecuaciones químicas de los procesos de obtención de metales (ENCCH, 2016, p. 21).
- A11. Elabora argumentos que justifican la necesidad que tiene la sociedad de regular las actividades mineras, al contrastar el impacto económico y ambiental de la explotación de minerales en algunas comunidades del país, a partir del análisis crítico de documentos que ubican las problemáticas relacionadas con el tema (ENCCH, 2016, p. 22).

Se espera que, con la articulación de los aprendizajes antes mencionados, los alumnos reconozcan la importancia científica, tecnológica y social que posee la química de los metales, así como la necesidad de que los procesos extractivos ligados con la metalurgia disminuyan su impacto ambiental.

Sinopsis

En el texto “Oro, Plata y Cobre”, Laura Gasque realiza un interesante recorrido histórico en el cual evidencia las propiedades del oro, la plata y el cobre, tres de los metales más representativos en la historia. A través del artículo, la autora pone de manifiesto la importancia que han tenido los metales en el desarrollo de la química y de la humanidad.

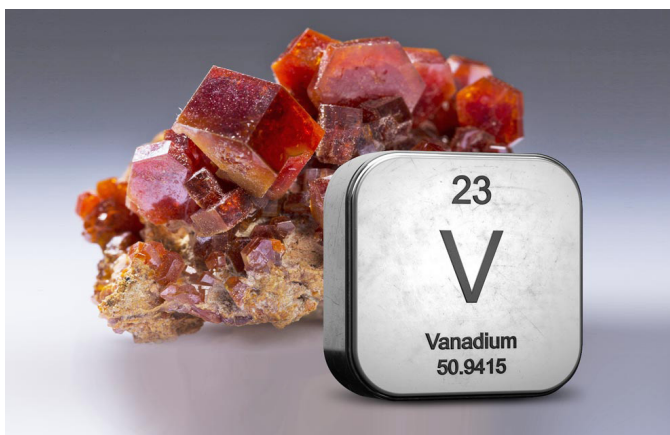


Imagen 13. El metal vanadio, una aportación hispano-mexicana a la tabla periódica (Romero, 2019). Disponible en: <https://cutt.ly/GmKdWgK>

Ficha de referencia

Gasque, Laura, “Oro, plata y cobre”, publicado en *¿Cómo ves?*, Año 16, Núm. 189, pp. 16-19, UNAM, Cd. de México 2014.

Oro, plata y cobre

Por Laura Gasque

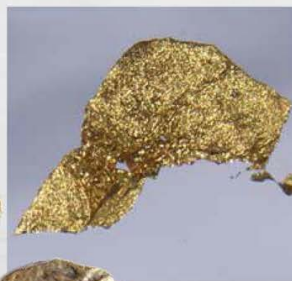
Se les conoce como metales de acuñar y es muy posible que fueran los primeros que conoció el ser humano, de ahí su importante papel en las civilizaciones antiguas.

De los cerca de 110 elementos químicos conocidos en la actualidad, 85 son metales. Aunque la mayoría están en la naturaleza formando compuestos químicos a los que llamaremos minerales, se conocen y se utilizan muchos en estado elemental o metálico; por ejemplo, el oro, la plata, el cobre, el hierro, el plomo, el aluminio y el estaño.

A partir de la aparición del *Homo habilis*, para que los seres humanos aprendieran a conocer y utilizar estos metales tuvieron que pasar cerca de 2.5 millones de años. Durante todo ese tiempo nuestros antepasados ya utilizaban el fuego para alumbrar, calentarse y cocinar alimentos, pero todas las herramientas se construían con piedra, huesos y materiales de origen vegetal. Los metales aparecen en la historia de la humanidad en el Neolítico, hace apenas unos 8000 años, cuando la especie humana descubrió la agricultura y dejó de ser nómada. Si reuniéramos los 2.5 millones de años de historia de la humanidad en un solo día, nuestra especie, el *Homo sapiens sapiens* (que surgió hace unos 200000 años) tendría 112 minutos de edad y sólo habría empleado los metales en los últimos cinco minutos.



Monedas celtas
(c. 40 a. C.).



Fotos: Images of Elements
Luis C.

Es muy posible que los seres humanos conocieran el oro, la plata y el cobre, llamados actualmente metales de acuñar, antes que a todos los demás, pues se encuentran en la naturaleza en su forma metálica o elemental.

El oro que reluce

Seguramente el oro fue el primer metal en estado elemental que el hombre no sólo conoció, sino valoró y atesoró por su particular belleza que resiste los ataques del tiempo y la naturaleza. Pero desgraciadamente por esa misma razón no se tienen evidencias arqueológicas de su uso en el Neolítico. Probablemente se recicló durante generaciones y generaciones, transformando unos objetos en otros. Además, el oro es siempre lo primero que





Colección Varna (Bulgaria, 4600-4200 a. C.).

desaparecen los saqueadores cuando se descubre un sitio de interés arqueológico.

Mientras que en Japón, por ejemplo, hay vestigios de cerámica con una antigüedad superior a los 13000 años, los objetos de oro más antiguos conocidos hasta la fecha tienen apenas 6000. Se trata de una colección de joyas y artefactos en perfecto estado de conservación, descubierta en Bulgaria en 1972, cerca de la ciudad de Varna, en los restos de un cementerio. Los objetos de oro más célebres de la antigüedad son los hallados en las tumbas egipcias, como la máscara del sarcófago de Tutankamón del siglo XIV a. C., que pesaba más de 100 kilogramos. En la literatura antigua hay numerosas referencias a objetos de oro muy preciados, como el Arca de la Alianza recubierta de oro por dentro y por fuera (1200 a. C.); allí, según el Antiguo Testamento, Moisés guardó las tablas de la ley.

Este bello y escaso metal es particularmente blando, por ello sus usos fueron exclusivamente ornamentales y ceremoniales. En la antigüedad lo debieron obtener extrayéndolo de vetas en las rocas, o como pepitas que se desprendían de las montañas por la erosión del material rocoso que las rodeaba y que en ocasiones iban a dar al lecho de algún río.

En América el oro se trabajó mucho y aunque los conquistadores españoles se llevaron cantidades enormes, en Mé-

xico, Colombia y Perú se conservan valiosos artículos encontrados en las tumbas. El mayor botín de oro reunido durante la Conquista fue tal vez el solicitado por Pizarro y



Joya precolombina (Panamá, 1100-1500 d. C.).

sus hombres a cambio de la vida del soberano inca Atahualpa. Él pactó con el conquistador su libertad a cambio de todo el oro que cupiera en una habitación de aproximadamente seis por cinco metros y de la altura de un hombre, y el doble de volumen de plata. Atahualpa cumplió con el pacto como todo un caballero, pero Pizarro cobró el tesoro y mandó matar al inca.

Puente de plata

La plata es un metal unas 200 veces más abundante que el oro en la corteza terrestre y sin embargo hay muchos menos vestigios arqueológicos de su empleo en la historia antigua. Esto se puede atribuir a que a diferencia del oro que se encuentra tal cual, mucha de la plata es parte de minerales como el sulfuro de plata, que aunque tienen cierto brillo, no sugieren para nada

DE LA ALFARERÍA A LA METALURGIA

La cerámica es un material obtenido a partir de arcilla común. La arcilla está formada por una combinación de alúmina (óxido de aluminio) y sílica (óxido de silicio), acomodados geométricamente junto con algunas moléculas de agua. Al agregar agua a la arcilla, ésta se vuelve una pasta moldeable a la que es posible darle diversas formas. Si calentamos esta pasta hasta alguna temperatura por debajo de 400°C, simplemente la secamos y obtenemos la arcilla original, que se desmorona con facilidad. Pero si la calentamos por arriba de esta temperatura, las moléculas de agua del material original empiezan a escapar, haciendo que la sílica y la alúmina se acerquen más entre sí, ocupando los huecos que van dejando las moléculas de agua y convirtiéndose en un material más compacto, totalmente distinto, duro y repelente al agua.

La creación de los materiales cerámicos a partir de arcillas, que pudo fácilmente haber tenido lugar de forma accidental en una hoguera neolítica, se fue perfeccionando una vez que su utilidad se hizo evidente. La calidad de la

cerámica depende de la naturaleza de la materia prima y de la temperatura de la cocción; estos dos factores pueden modificarse por prueba y error de modo que se obtenga un producto cada vez mejor. Es común encontrar otros elementos en las arcillas, aparte de aluminio, silicio y oxígeno; los más comunes son el calcio, el magnesio y el sodio, así como el hierro que es el que da a las arcillas sus tonalidades amarillentas o rojizas. Por otro lado, la temperatura que es posible alcanzar en un fuego al aire libre puede llegar a 600-700°C, pero si éste se cubre formando un horno, la temperatura llega a rebasar fácilmente los 1000°C. Fue a través del control de estas variables como la alfarería de cada lugar y época fue tomando su propia identidad. Permitió también el desarrollo de la metalurgia.

La motivación de fabricar mejores materiales cerámicos llevó al desarrollo de hornos cada vez más capaces de alcanzar mayores temperaturas, las cuales son necesarias para llevar a cabo las transformaciones químicas involucradas en la separación de los metales de sus minerales.

la blancura del brillante metal que ocultan. Además, la gran afinidad de la plata con el azufre causa que este metal pierda fácilmente su brillo al estar expuesto a la atmósfera, como bien sabemos todos los que alguna vez hemos tenido que limpiar plata. El material oscuro que recubre los objetos de plata es precisamente el sulfuro de plata que se forma a partir de la plata metálica y cualquier traza de óxido de azufre que haya en el aire.

La plata empezó a explotarse hace aproximadamente 5000 años en Anatolia, Turquía, pero fue en España, alrededor del año 100 d. C., que tuvo lugar una de las explotaciones más importantes de este metal en la antigüedad. El nombre en español de este metal, tan distinto al que tiene en otros idiomas, proviene del latín *platta argentum*. *Argentum* era el nombre del metal propiamente dicho y la palabra *platta* (plural de *plattum*) significaba "láminas o platos". Los españoles producían el metal y lo laminaban para su almacenamiento y transporte, comercializándolo con el nombre de *platta argentum*.

La producción de plata en todo el mundo se mantuvo más o menos constante desde la Grecia clásica hasta el final de la Edad Media. Ésta era menor de dos millones de onzas troy (una onza troy equivale a 31.1 gramos) y se sextuplicó durante la colonia española en América, gracias a la explotación de las minas de Bolivia,



Foto: Images of Elements.com



Foto: Rafael Suarez/CC

Denario (c. 161 d. C.).

México y Perú. Se estima que en la época de la colonia, el 85% de la plata que se producía y se comerciaba en el mundo provenía de estos tres países.

Se habla mucho de las enormes cantidades de oro que los españoles extrajeron de América Latina, pero no es tan conocido que por cada tonelada de este metal extrajeron aproximadamente 50 toneladas de plata.

La plata fue tan importante durante esos siglos que su nombre se volvió sinónimo de dinero, y aún en nuestros días en varios países hispanoparlantes "plata" es el nombre común del dinero. Otro ejemplo de la penetración de la plata en la vida cotidiana es una de las palabras en inglés para los cubiertos que usamos para comer: *silverware* (*silver* significa plata).

Los usos de la plata en nuestro siglo están cambiando drásticamente. Mientras que en el siglo XX los principales usos

industriales de la plata eran en la fotografía y en la industria farmacéutica, en el siglo XXI la fotografía digital y los antibióticos han eliminado casi por completo estas aplicaciones y en cambio su utilización en tecnologías de punta está aumentando. De todos los metales, la plata es el mejor conductor de electricidad. A pesar de que su precio es casi 80 veces mayor que el del cobre, para aplicaciones

especializadas la inversión se justifica. Otro uso actual es la modernización de una aplicación antigua: los espejos. Todos los espejos que empleamos en nuestra vida cotidiana se fabrican con plata, pero en los últimos años se ha incrementado la fabricación de grandes espejos con este metal para concentrar la luz solar y aprovechar ésta para obtener energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas.

Batir el cobre

El cobre se halla sólo ocasionalmente en estado elemental, ya que por lo general se le encuentra formando vistosos minerales de colores verdes, azules o dorados oscuros. Los más fáciles de encontrar cerca de la superficie son los azules o verdes, que son carbonatos o hidróxidos que se han formado por la exposición del cobre al aire y al agua. El cobre de los yacimientos más profundos está sobre todo en forma de sulfuro.

Entre los principales minerales verdes y azules están la malaquita y la azurita, dos piedras semipreciosas de diferente color y composición parecida. Ambas contienen carbonato de cobre e hidróxido de cobre, sólo que en distinta proporción —malaquita: $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$, azurita: $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ —. Estas piedras son tan atractivas que desde la antigüedad se han empleado en joyería o para decorar artículos de cerámica.

Al usar trozos de malaquita o un pigmento hecho a base de una pasta de malaquita pulverizada con agua para decorar una pieza de cerámica, este carbonato puede reaccionar fácilmente con el carbón o la leña parcialmente quemada reduciéndose a cobre metálico, con su característico brillo y color rojizo, muy distinto del verde de la malaquita. Esto debe haber sucedido de manera no intencional hace miles de años en un horno primitivo, causando una gran sorpresa. El paso de este descubrimiento azaroso a la obtención deliberada de cobre metálico, quizá dependió únicamente de la disponibilidad de las piedras verdes que se transforman al calor de un horno y en presencia de carbón con poco oxígeno disponible, pues el carbón reacciona con el mineral de cobre, no sólo con el oxígeno. Las reacciones químicas que se llevan a cabo son bastante simples: primero, el carbonato hidróxido de cobre se convierte

Foto: Museo Larco



Nariguera de plata precolombina (Chimú, Perú, 1100-1450 d. C.).

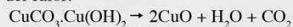
MÁS INFORMACIÓN

- Asimov, Isaac, *Breve historia de la química: introducción a las ideas y conceptos de la química*, Alianza, Madrid, 1980.
- Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM, "Historia de los materiales" en: www.iim.unam.mx/mbizarro/1-Historia%20de%20los%20materiales%202013-2.pdf

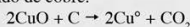
Foto: imagesofelements.com



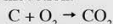
en óxido de cobre cuando se eliminan el agua y el dióxido de carbono por acción del calor:



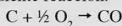
Después, el carbón extrae el oxígeno del óxido de cobre:



Desde luego, para que el carbón produzca calor debe llevarse a cabo al mismo tiempo la combustión:



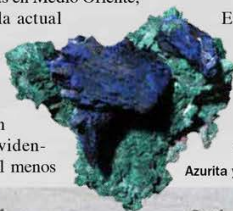
Cuando el oxígeno escasea por la combustión, también puede llevarse a cabo la siguiente reacción:



Y el propio monóxido de carbono puede reaccionar también con el óxido de cobre, reduciéndolo a cobre metálico:



En diversas investigaciones arqueológicas realizadas en Medio Oriente, en Anatolia (la actual Turquía), en el desierto del Sinaí (Egipto) y en Israel, se han encontrado evidencias de hace al menos



Azurita y malaquita.



Un platero le muestra a su hijo cómo fundir metal soplando por un canuto (Códice Mendocino, folio 70, c. 1541).

6000 años de la producción de cobre metálico a partir de sus minerales.

Otras investigaciones sugieren que esta tecnología se descubrió de manera independiente en muchas otras culturas en distintas fechas. Actualmente ya se han encontrado evidencias de metalurgia de cobre en los Balcanes y en la España contemporánea a los hallazgos de Israel. En el 2000 a. C esta metalurgia ya se practicaba en toda Europa, dando lugar a una importante era que precedió a la edad de bronce, la llamada calcolítica (*khalkos*, cobre y *lithos*, piedra).

Cobre gana cobre

En nuestro continente la tecnología del cobre se desarrolló de dos maneras distintas. La primera se originó en tiempos tan remotos como 3000 a. C. en los alrededores de los Grandes Lagos, y se basó en la gran abundancia de cobre elemental que produjo un

extraordinario accidente geológico. Los depósitos de cobre elemental de Michigan se encontraban localizados en una franja de 170 kilómetros de largo por 16 kilómetros de ancho. Ahí se encontró cobre metálico en granos microscópicos y en trozos de hasta media tonelada. Con semejante disponibilidad, los

indios de Norteamérica no tuvieron ninguna necesidad de aprender a extraerlo de sus minerales y aprendieron fácilmente a trabajarlo para elaborar múltiples herramientas y objetos ornamentales.

Por otro lado, en México y en Perú, donde no hay yacimientos de cobre elemental, sí hay evidencia de que los nativos lograron dominar la metalurgia del cobre. En el Archivo General de

Indias se registran declaraciones hechas por los indígenas de Michoacán acerca de cómo recogían unas piedras verdes a partir de las cuales obtenían el cobre. Existen varios registros gráficos del proceso de fundición, como el del *Códice Mendocino*, donde se aprecia a un fundidor soplando con un canuto.

En general con el cobre se pueden hacer navajas y cuchillos con más filo que los de obsidiana, pero su blandura característica no favorece la fabricación de herramientas de otro tipo, si bien tanto en el Viejo Mundo como en el continente americano los artesanos descubrieron que el martillado y el calentamiento repetitivo lo endurecen considerablemente. Para poder obtener armas y herramientas metálicas que realmente dieran lugar a una revolución tecnológica, fue necesario modificar el cobre con una aleación.

Mediante la adición controlada de otros elementos al cobre, se logró obtener un nuevo material que fue tan importante que le dio su nombre a toda una era de la cultura humana: la edad de bronce. Podríamos decir también que la incorporación del bronce a la tecnología fue el detonante para el desarrollo de la metalurgia. Esta, a través de la manipulación primero del hierro y el acero, y en la actualidad de metales como el aluminio y el titanio, ha contribuido al desarrollo de una innumerable cantidad de objetos sin los cuales la vida que conocemos sería totalmente imposible. ◀

Laura Gasque Silva es doctora en química inorgánica. Trabaja en la Facultad de Química de la UNAM, donde imparte cursos en la licenciatura y el posgrado, y realiza investigación en química de coordinación y bioinorgánica.

Actividades de aprendizaje

Estrategia II. Oro, plata y cobre

I. Activación de conocimientos previos

Para explorar tus **conocimientos previos** sobre el tema, contesta las siguientes preguntas:

- 1. En parejas, realicen una **lluvia de ideas** sobre lo que saben acerca del oro, la plata y el cobre. Organicen sus ideas en la siguiente tabla, guiándose por el ejemplo (consideren llenar todos los rubros por medio de palabras, frases o ideas; no importa si hay más de uno; guíense por el ejemplo):

Lluvia de ideas en torno al oro, la plata y el cobre			
A		M	
B	Brillo metálico	N	
C		O	
D		P	
E		Q	
F		R	
G		S	
H		T	
I		U	
J	Joyería	V	Valor económico
K		Y	
L		Z	

2. De forma individual revisa el título, los subtítulos, los recuadros e imágenes presentes en la publicación divulgativa y contesta con tus propias palabras: ¿de qué crees que tratará el artículo “Oro, plata y cobre”?
3. Efectúa una **lectura exploratoria** de forma individual del texto divulgativo. Como una primera aproximación, ¿qué relación consideras que tiene este tema con el estudio de la química?
4. Ahora identifica las **palabras, conceptos o frases** que no entiendas y anótalos en el cuadro siguiente.

Exploración de palabras y frases que generan dudas en el texto	
Palabras o conceptos	Enunciados o frases en los que se inserta la palabra o el concepto

II. Análisis de contenidos

En esta sección, los alumnos analizarán bajo la guía del docente¹, los contenidos más relevantes presentes en el material de lectura seleccionado.

¹ Se recomienda discutir en plenaria las respuestas de los estudiantes a los reactivos 3 y 4 de esta sección, pues resultarán claves en el proceso de autorregulación del aprendizaje. Asimismo, conviene analizar la información recopilada de manera general sobre los conocimientos previos, ya que constituye un indicador relevante para el seguimiento del aprovechamiento escolar.

Los **supuestos** son formulaciones mentales comunes y tienen que ver con intuir o suponer lo que hay detrás de los hechos o sucesos cotidianos. Seguramente, la lectura del texto te permitió realizar algunos supuestos en torno a los tres metales referenciados en el material de lectura. Para ello, contesta las siguientes preguntas:

5. Desde tu perspectiva, ¿cuál es la importancia del tema que se aborda en el texto divulgativo?
6. Comenten dos cosas que con seguridad comprendan del artículo “Oro, plata y cobre”:

A.

B.

Otro aspecto, esencial en todo proceso de análisis textual, es detectar el **problema** o **idea central** presente en un material de lectura. Para llevar a cabo esta labor con el texto de “Oro, plata y cobre” realiza lo siguiente:

7. Lee el artículo nuevamente e identifica las ideas centrales de cada apartado o subtítulo presente en el texto. Recopila la información en los siguientes recuadros.

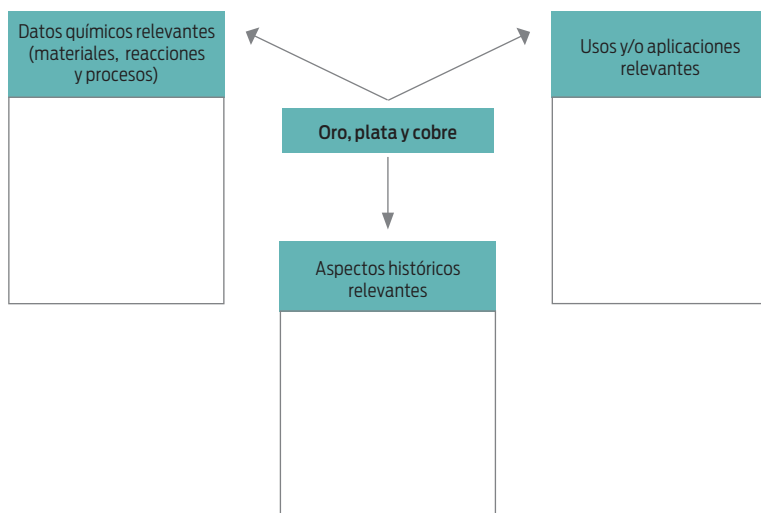
1. Introducción	2. El oro que reluce	3. De la alfarería a la metalurgia (recuadro)
4. Puente de plata	5. Batir cobre	6. Cobre gana cobre

8. En tu opinión, ¿cuál es la idea central de este texto?, es decir, ¿cuál es el tema central del que se habla en el artículo? No olvides redactarla con tus propias palabras. Pueden empezar así:

El artículo "Oro, plata y cobre" habla/expone/evidencia/presenta... Lo anterior se sustenta en que el texto...

Todo artículo científico o divulgativo apela a la objetividad, claridad y veracidad de la información. Las siguientes actividades tienen como propósito identificar los **datos, evidencias y respaldos** que utiliza la autora al presentar diferentes aspectos sobre la temática expuesta.

9. En la siguiente tabla enlisten la **información relevante** (datos químicos como materiales, reacciones, procesos de síntesis; aplicaciones y aspectos históricos) que se mencionan en el texto al abordar los diferentes aspectos sobre el oro, la plata y el cobre.



10. A partir del análisis que se ha hecho del material de lectura en clase, ¿consideran que existe coherencia entre el contenido, los subtítulos, las imágenes, los recuadros y la forma de presentar la información en el texto? Justifiquen su respuesta.

La formulación de **inferencias** es otra habilidad asociada con la comprensión lectora y el pensamiento crítico. Una forma de dar seguimiento a estos constructos cognitivos es

mediante el reconocimiento del posicionamiento del autor respecto al tema abordado en un texto, la construcción de argumentos o conclusiones y la formulación de cuestionamientos. Las siguientes actividades tienen como finalidad incentivar la formulación de inferencias.

11. A partir de lo leído, ¿cuál es el posicionamiento del autor sobre el tema? Descríbelo brevemente con tus propias palabras. Puedes empezar así:

Considero que la posición que la autora del artículo "Oro, plata y cobre" toma en su texto es... lo anterior lo sustento en...

En la siguiente tabla enuncia un argumento a favor y otro en contra, ya sea sobre la manera de presentar la información o sobre algunas afirmaciones presentes en el texto. Es importante que los argumentos estén basados en información objetiva y veraz, además de redactarse de forma clara y coherente.

Argumento a favor del texto divulgativo	Argumento en contra del texto divulgativo

Otro aspecto clave en el análisis textual consiste en identificar el **propósito que busca cumplir un texto**, esto es, el motivo por el cual la autora decidió escribirlo y difundirlo. Considerando lo anterior, redacten un breve párrafo guiándose por la pregunta siguiente:

12. ¿Por qué creen que la autora escribió el artículo “Oro, plata y cobre”? ¿Cuál es la intención o propósito que busca generar en el público lector al que va dirigido? Pueden iniciar de la siguiente manera:

Una de las razones que impulsaron a la autora a escribir este artículo es...

El propósito de este artículo de divulgación científica consiste en... Lo anterior se basa en la siguiente información...

III. Problematicación del texto divulgativo

En esta sección se abordarán aspectos conceptuales y contextuales que guardan relación con la temática estudiada en el material de lectura, esto con el propósito de robustecer su comprensión y proporcionar elementos que coadyuven a la adquisición de una posición informada².

² Para las actividades de esta sección, se recomienda el trabajo cooperativo y colaborativo en equipos. En la actividad experimental, se sugiere solicitar previamente un diagrama de flujo sobre las reacciones que habrán de efectuarse en el laboratorio.

3.1 Problematización conceptual

Actividad experimental: Obtención de plata y cobre mediante reacciones REDOX

Objetivo

- Los alumnos efectuarán algunas reacciones químicas que permiten la obtención de plata y cobre en el laboratorio escolar. Explicarán la precipitación de estos metales en el marco de la teoría de óxido-reducción (REDOX).

Introducción

Los metales constituyen un recurso que ha estado fuertemente ligado con el desarrollo de la humanidad. Actualmente están presentes en las estructuras de nuestras viviendas, en los sistemas de transporte como autos, aviones o embarcaciones, así como en diversos utensilios que utilizamos en la vida cotidiana, como dispositivos eléctricos, herramientas, joyas, etcétera.

La mayoría de los metales se encuentran en la naturaleza en forma de minerales, como la bauxita (Al_2O_3), la siderita (FeCO_3), el cinabrio (HgS) y la turquesa ($\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), entre otros. Gracias a la metalurgia es posible extraerlos de forma pura de los minerales que los contienen, cuestión que ha permitido estudiar con profundidad sus propiedades, así como generar diversas aplicaciones en el ramo industrial y tecnológico.

Los metales son el bloque más numeroso de elementos químicos en la tabla periódica. Se caracterizan por ser maleables, dúctiles, duros, resistentes, brillantes, poseer altos puntos de fusión y ser buenos conductores de la electricidad y del calor. En lo que respecta a sus propiedades químicas, poseen baja electronegatividad, tienden a formar cationes, se oxidan con facilidad y están presentes en compuestos inorgánicos representativos, como las sales, los óxidos, los hidróxidos y los haluros. Buena parte de las reacciones químicas que experimentan los elementos metálicos pueden ser explicadas en el marco de la teoría de óxido-reducción (REDOX).

Metales		Iones metálicos
Potasio	Aumenta la reactividad	K^+ (ac)
Sodio		Na^+ (ac)
Calcio		Ca^{2+} (ac)
Magnesio		Mg^{2+} (ac)
Aluminio		Al^{3+} (ac)
Zinc		Zn^{2+} (ac)
Hierro		Fe^{2+} (ac)
Plomo		Pb^{2+} (ac)
Hidrógeno		H^+ (ac)
Cobre		Cu^{2+} (ac)
Plata		Ag^+ (ac)

Imagen 14. Serie de actividad de algunos metales y sus iones (Gutiérrez y Rodríguez, 2011).

Las reacciones REDOX son procesos que se explican mediante la transferencia de electrones. La comprensión de este tipo de reacciones exige el dominio de, al menos, cinco conceptos: número de oxidación, reducción, oxidación, agente oxidante y agente reductor. En química, el número de oxidación se

define como la carga que reviste un elemento al formar un compuesto químico. Al efectuarse un proceso REDOX, los números de oxidación de algunas especies químicas involucradas cambian o se modifican.

En la teoría REDOX, la reducción se define como la ganancia de electrones y la oxidación como el proceso inverso, esto es, la pérdida de electrones. Se afirma que los procesos REDOX representan un equilibrio, porque siempre que se produce una reducción debe ocurrir simultáneamente una oxidación (Atkins, 2012). Por lo anterior, se denomina agente reductor a la especie química que origina o provoca la reducción, esto es, la entidad química que se oxida; y agente oxidante a la especie química que induce la oxidación, es decir, la entidad química que se reduce, tal como se muestra en la imagen 15.

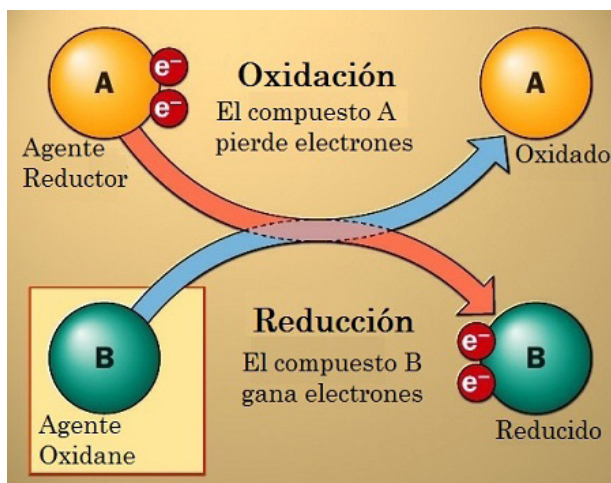


Imagen 15. Esquema de los conceptos de oxidación y reducción (Rodríguez y Zúñiga, 2021).

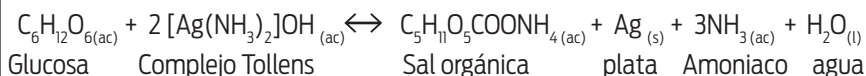
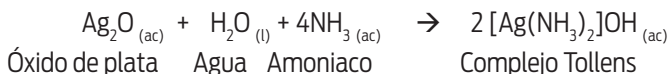
Las reacciones REDOX son relevantes porque permiten explicar de forma racional fenómenos de interés en la vida cotidiana, como la respiración, la fotosíntesis, la combustión, la reactividad de los metales, el envejecimiento, entre otros. En esta actividad experimental, se efectuarán algunas reacciones de óxido-reducción para mostrar la obtención de plata y cobre en el laboratorio escolar.

La primera reacción que se llevará a cabo se conoce como espejo de plata y consiste en la utilización de una variante del reactivo de Tollens (el hidróxido diaminado de plata $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$) para la producción de trazas de plata en las paredes de un tubo de ensayo³.

En esta reacción REDOX, el complejo de Tollens actúa como agente oxidante al contacto con los aldehídos en medio básico, lo que origina que estos se oxiden, formando la sal orgánica correspondiente $[\text{RCOO}]$. Como resultado de lo anterior, el complejo de Tollens se reduce produciendo plata metálica, elemento responsable del espejo que se forma en las paredes del recipiente en el que se realiza este proceso.

En el siguiente recuadro, se muestran las reacciones que describen la formación del espejo de plata.

³ La reacción de Espejo de plata es fácil de llevar a cabo en el laboratorio escolar. Es muy vistosa, por lo que se recomienda realizarla en el bachillerato únicamente como un procedimiento ilustrativo de la obtención de plata. Su comprensión es compleja porque implica el reconocimiento de la estructura y reactividad de compuestos de coordinación y compuestos orgánicos. Los compuestos de coordinación son un tema que no figura en los programas de química de la ENCCH; por tal razón, se recomienda a los docentes explicar previamente a los alumnos qué especie química se reduce (el reactivo de Tollens) y cuál se oxida (aldehídos presentes en la glucosa) en este proceso químico. Con esta explicación previa, los alumnos pueden comprender que el espejo de plata, observado en las paredes de un tubo de ensayo, es producto de una reacción REDOX y, con ello, enmarcar y cubrir el sexto aprendizaje (A6), presente en la segunda unidad del programa vigente de Química III del Colegio.



En las siguientes reacciones por realizar en el laboratorio, se obtendrá plata y cobre en forma de precipitado. Esto se logrará haciendo reaccionar sales metálicas con metales en estado puro, tomando en consideración la serie de actividad de los metales, tal como se muestra en el siguiente recuadro:

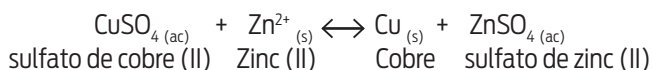
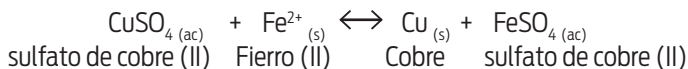
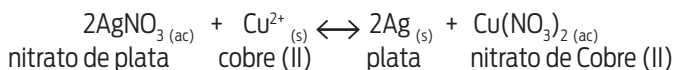


Imagen 16. Alumnos de la ENCCH-Sur efectuando la obtención de plata y cobre en el laboratorio (2019).

Materiales y sustancias

Materiales	Sustancias
1 gradilla	AgNO_3 0.5M
1 espátula	CuSO_4 1M
5 pipetas beral	Glucosa 0.5M
5 tubos de ensayo	NH_4NO_3 1.5M
1 agitador de vidrio	NaOH 3M
guantes de látex	HNO_3 1M
	Granallas de Zn
	Cu (alambre delgado)
	Fe (clavo de 1 in)

Procedimiento

- a) Formación de un espejo de plata:
 - i. Lava un tubo de ensayo con un poco de HNO_3 y sécalo completamente (no olvides usar guantes de látex).
 - ii. Coloca los reactivos en el siguiente orden: 8 gotas de glucosa, 4 gotas de AgNO_3 y, finalmente, 4 gotas de NH_4NO_3 .
 - iii. Agita el tubo con la mano hasta que la solución se mezcle totalmente.

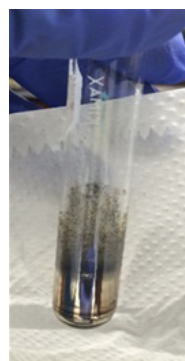


Imagen 17. Aspecto del espejo de plata producido en el laboratorio escolar.

- iv. Agrega 8 gotas de la solución de NaOH 3M; observarás inmediatamente la formación de un precipitado café.
 - v. Agita vigorosamente el tubo por tres minutos hasta observar la formación del espejo de plata, que es muy notorio (imagen 17). Anota tus observaciones en la tabla de la sección de resultados.
- b) Precipitación de plata y cobre mediante reacciones de desplazamiento simple:
- i. Rotula tres tubos de ensayo con las letras A, B y C.
 - ii. En el tubo A, coloca un alambre de cobre de 2 o 3 cm. Con ayuda de la pipeta beral vierte 2mL de AgNO_3 0.5M.
 - iii. En el tubo B, coloca unas cuantas granallas de zinc. Con ayuda de la pipeta beral vierte 3mL de CuSO_4 1M.
 - iv. En el tubo C, coloca un clavo de Fe de una pulgada. Con ayuda de la pipeta beral vierte 3mL de CuSO_4 1M.
 - v. Anota tus observaciones en la tabla de la sección de resultados.

Resultados

Reacción	Observaciones (evidencias experimentales de las reacciones efectuadas)
Espejo de plata	
Tubo A	
Tubo B	
Tubo C	

Manejo de residuos

- Investiga previamente las toxicidades de las sustancias utilizadas.
- Las reacciones efectuadas en esta actividad experimental generan la formación de subproductos, por lo que se recomienda emplear las cantidades indicadas.
- Coloca todos los residuos de cada experimento en el contenedor, previamente etiquetado que te indique tu profesor. No tires ningún residuo directamente a la tarja, porque hay presencia de metales y sales tóxicas.
- Lava los tubos con agua destilada, si no se quitan los residuos agrega un poco de HNO_3 diluido y vuelve a verter agua.

Análisis de resultados

A partir de lo observado en la actividad experimental, resuelve el siguiente cuestionario, el cual te servirá para reforzar aprendizajes en torno a las propiedades químicas de los metales.

13. Identifica el agente oxidante y el agente reductor de las cuatro reacciones efectuadas y anótalos en la siguiente tabla:

Reacción	Agente oxidante	Agente reductor
i. Espejo de plata		
ii. Precipitación de plata		
iii. Precipitación de cobre a partir de Fe^{2+}		
iv. Precipitación de cobre a partir de Zn^{2+}		

14. En el subtema "Batir el cobre", la autora del artículo divulgativo esboza cinco reacciones químicas relacionadas con la obtención del cobre a través del mineral malaquita.

Reescribe estas reacciones, anota los nombres de todas las sustancias involucradas y clasifícalas según su comportamiento químico (síntesis, descomposición, desplazamiento simple y doble desplazamiento).

15. Balancea la siguiente reacción por el método de óxido-reducción y asigna el nombre de todas las sustancias involucradas.



3.2 Problematicación contextual

En esta sección, los alumnos realizarán una breve investigación documental sobre la dimensión CTS-A de la industria metalúrgica en el contexto nacional. Primero, realizarán una búsqueda en internet para obtener algunos datos sobre la extracción de la plata en el México colonial, ya que esta actividad constituye un hito económico y cultural. Posteriormente, indagarán sobre el proceso de extracción de metales mediante la denominada "minería de cielo abierto", una técnica extractiva que ha causado fuertes polémicas por sus devastadores efectos ambientales y socioeconómicos.

Investigación documental

La industria minera en México

Como se mencionó en el artículo divulgativo, desde la llegada de los españoles, nuestro país ha figurado como uno de los principales productores de plata en el mundo. El esplendor de esta actividad se produjo durante la época novohispana.

16. Completen la siguiente tabla con información proveniente de fuentes de internet, sobre la extracción de plata en el periodo histórico antes mencionado.

Extracción de plata durante la Colonia	Información
Cantidad aproximada de toneladas de plata extraída.	
Regiones del país que formaban parte de la denominada "Ruta de la plata".	
Beneficios de la producción de plata en la época colonial (enuncia dos).	
Repercusiones de la minería en el ámbito económico, social y cultural.	

¿Qué problemática asocian los historiadores a la sobreexplotación de la plata durante este periodo?

Ingresen y naveguen en el portal web “México Minero” para dar solución a las siguientes actividades. El enlace de este portal es el siguiente: <https://mexicominero.org/>

17. Contesten: ¿cuál es la contribución de la industria minera mexicana al Producto Interno Bruto (PIB)? ¿Qué importancia tiene este indicador económico?
18. Definan, con sus propias palabras, qué es la minería y elaboren un diagrama de flujo de las diferentes fases involucradas en la extracción de metales, consultando el micrositio *México Minero*.



Imagen 18. Imagen del micrositio del portal web México Minero, en el que se explican las diferentes fases de la extracción de los metales (2019). Disponible en:

<https://cutt.ly/dmlyeia>

La minería en México

La minería es reconocida como una actividad industrial determinante en la evolución histórica de la humanidad. México es un país con una amplia tradición minera, ya que el aislamiento y utilización de los metales en la región nos remonta hasta la época precolombina. Posteriormente, durante la Colonia, el continente americano aportó al mundo cerca de dos tercios de la producción mundial de plata, así como miles de toneladas de oro y de otros metales industrialmente relevantes (cobre y hierro). Su comercialización provocó un nuevo auge económico e industrial en Europa, a finales del siglo XVI y durante todo el siglo XVII, lo cual sentó las bases para el surgimiento de la denominada Revolución Industrial, en el siglo XVIII. En el continente americano, la minería fue una palanca de desarrollo, no solamente en el ámbito económico, sino también en el rubro social, cultural e inclusive académico.

La química tuvo su origen en el estudio de los gases con Antoine Lavoiser (1743-1794). Sin embargo, fue a finales del siglo XVIII cuando esta ciencia se consolidó gracias al estudio de los minerales. Los primeros métodos de síntesis, análisis químico y sistemas de nomenclatura se originaron con el estudio de sustancias que contenían metales. Hoy en día, esta área de conocimiento está representada por la denominada química inorgánica.

Como se ha mencionado, la minería es una actividad industrial que se basa en la extracción de minerales de la superficie terrestre para obtener de ellos un beneficio económico. Por su parte, la metalurgia posibilita la refinación y obtención de los metales en su estado puro. Las treinta y dos entidades federativas que conforman la República Mexicana poseen yacimientos mineros. Nuestro país se destaca en la producción de siete metales: plata, oro, cobre, hierro, plomo, zinc y molibdeno.

Producción minera en México (SGM, 2018)

Metal	Producción (Toneladas)	Lugar en el Mundo
Plata	6,100	1º
Molibdeno	15,000	5º
Plomo	5,600	6º
Zinc	34,000	6º
Oro	125	8º
Cobre	760,000	9º
hierro (pellet)	18, 000,000	13º

Aunque México se encuentra entre los primeros diez productores de metales a nivel mundial, el panorama actual de la industria minero-metalúrgica no es muy alentador. Por un lado, las reservas de minerales son cada vez más escasas, lo que ha obligado a las empresas a diseñar e implementar métodos de extracción más agresivos y devastadores, los cuales están generando efectos negativos en el medio ambiente, como es el caso de la minería a cielo abierto. Por

otro lado, la mayoría de las empresas en este sector son extranjeras o pertenecen al sector privado, cuestión que sesga el margen de beneficio económico que esta actividad puede redituarse al país. Además, la concesión de áreas mineras a empresas transnacionales está generando invasión y despojo de tierras en comunidades tanto indígenas como rurales.

Minería a cielo abierto

Una de las técnicas extractivas de metales que ha cobrado fuerza y ha despertado una fuerte polémica, tanto en el contexto nacional como internacional, es la denominada minería a cielo abierto. Este es un proceso industrial que consiste en extraer minerales de lugares poco accesibles o donde se sabe que se encuentran a poca profundidad. También suele utilizarse esta técnica en regiones donde la minería tradicional está en su última etapa o fase de decadencia y ofrece una producción mínima. Con la minería a cielo abierto se maximiza la extracción de metales en dichas regiones.



Imagen 19. Contaminación de cuerpos de agua, producto de la minería a cielo abierto. Disponible en: <https://cutt.ly/Vm1omMl>

La minería a cielo abierto utiliza explosivos para separar los minerales de la superficie del suelo y grandes cantidades de agua, en la que se mezclan una gama de químicos altamente tóxicos como el cianuro, para refinar el proceso de obtención de metales. Este tipo de minería genera severos problemas ambientales, por el alto grado de devastación que implica su operación.

Se solicita a los alumnos que revisen con atención los siguientes videos, relacionados con la minería a cielo abierto. El primero aborda efectos negativos que esta práctica industrial genera en el rubro ambiental y socioeconómico, mientras que el segundo resalta cuestiones benéficas.

- **Video 1:** *¿Qué es la mega minería a cielo abierto?*
Disponible en: <https://youtu.be/T5qlNaSwYVE>
- **Video 2:** *Prácticas ambientales en minería a cielo abierto.* Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=fUxTW63Sbb4&t=38s>

19. En la siguiente tabla enlisten tres aspectos favorables y tres que no lo son sobre la minería a cielo abierto.

Aspectos favorables sobre la minería a cielo abierto	Aspectos desfavorables sobre la minería a cielo abierto

- | Recomendaciones para mitigar el daño ambiental provocado por la minería a cielo abierto | |
|---|--|
| | |

- #### IV. Producto final: Elaboración de una infografía

Como producto final, realizarás de forma individual una infografía sobre la importancia química, económica y social de la minería. Esto, con el objetivo de dar seguimiento a los aprendizajes generales construidos durante este proceso de lectura crítica.

¿Qué es una infografía?

La **infografía** o **infograma** es una representación gráfica, conformada por dos códigos: el escrito, en el que se condensa la información relevante sobre un asunto, y el visual, en el que se incluyen mapas, diagramas, tablas o imágenes que apoyan y/o complementan la información.

Las infografías son útiles porque muestran los aspectos básicos de un tema y permiten acceder de una forma amigable y sencilla a la información.



Imagen 20. Aplicaciones para realizar una infografía. Disponible en:
<https://cutt.ly/HQICA2i>

Para realizarla es necesario considerar lo siguiente:

1. Elige el tema.
2. Define qué es lo que quieres mostrar o desarrollar, de acuerdo con los requerimientos definidos previamente.
3. Consulta diversas fuentes para obtener información. Asegúrate de que estas presenten información veraz y provengan de fuentes académicas o divulgativas confiables y reconocidas.
4. Organiza las ideas que habrás de mostrar y clasifícalas en orden de importancia.
5. Selecciona las imágenes que habrás de incluir o determina qué de la información que integrará tu infografía puede presentarse en recuadros.
6. Realiza un borrador o bosquejo en el que imagen y texto se distribuyan de forma uniforme y atractiva.
7. Diseña tu infografía empleando alguno de los programas disponibles en la red, como Piktochart, Easel.ly o Canva.
8. Arma tu infografía considerando originalidad; integración de imágenes y texto; uso de una paleta de colores que permita el contraste, sin que esto resulte chocante; empleo de tipografía e imágenes sencillas que comuniquen el mensaje de forma adecuada y se complementen con el código escrito.
9. Al final revisa que tu infografía cumpla con lo siguiente:
 - Esté redactada con claridad y sin errores de ortografía.
 - Se apegue al tema solicitado.
 - Exista un equilibrio imagen-texto.

- Contenga un título (y subtítulos), así como tus datos.
- Que la información presente una gradualidad en su desarrollo.
- Contenga la información esencial y aborde los aspectos solicitados.
- Presente las fuentes consultadas en formato APA.

Si deseas conocer más sobre el proceso de realización de una infografía, puedes consultar lo siguiente:

Facultad de Contaduría y Administración. (s/f). "Cómo hacer una infografía en cinco pasos".

Disponible en: http://fcaenlinea1.unam.mx/ane-xos/1526/1526_u8_loqueaprendi.pdf



Imagen 21. Ejemplo de infografía. Disponible en <https://bit.ly/3rA2J5x>

Para la elaboración de la infografía sobre la minería considera los siguientes lineamientos:

- a) Relación que guarda la minería con la química.
- b) Papel que juegan, en esta actividad industrial, los metales referenciados en el texto divulgativo (oro, plata y cobre).
- c) Beneficios económicos, tecnológicos y sociales que genera la minería.
- d) Riesgos ambientales y/o problemas sociales que se asocian con la actividad minera.
- e) Referencias de al menos dos fuentes consultadas en su elaboración, en formato APA.

A continuación se muestra como ejemplo una infografía, en la cual se ofrecen datos interesantes sobre los minerales presentes en un teléfono celular.

Minerales en tu celular

Los beneficios de la actividad minera están presentes en nuestra vida diaria y en un artículo de hoy día es de primera necesidad: el teléfono celular.

“ Un celular está hecho de: 200 minerales, 80 elementos químicos y más de 300 aleaciones ”

Baterías

Ion de litio, aunque hay otras de cadmio, níquel, zinc, cobre, cobalto, entre otros.

Pantalla

Mercurio, yodo y las llamadas tierras raras para darle color

Cerámica y vidrio

Utilizados en: pantalla y circuitos impresos

Plásticos

Utilizados en: estructura externa, el teclado, los circuitos impresos y otros componentes

Microchips

Tantalio y niobio, que se extraen del mineral conocido como coltán

Metales

Utilizados en: circuitos impresos, piezas mecánicas y componentes electrónicos

También se utilizan rodio, paladio, berilio y menos de 1% de plomo, magnesio, vanadio, carbonato de calcio, molibdeno, mica, talco, carbonato de sodio, boratos, caolín, wollastonita, cuarzo y feldspatos, y aunque en bajas cantidades, contiene oro, plata y platino en la memoria y cristal de zafiro en la cámara.

mexicominer.org | contacto@mexicominer.org

mexico
minero.org

Imagen 22. Ejemplo de la estructura y formato de una infografía. Disponible en: <https://cutt.ly/pmlsL7i>

Coevaluación de la Infografía

Nombre: _____ Grupo: _____ Fecha: _____ Coevalúa: _____

Instrucciones: Intercambia, lee y coevalúa la infografía de uno de tus pares empleando esta lista de cotejo.

Categoría	Número	Criterio	Cumple		Observaciones
			Sí	No	
Contenido	1	Muestra la relación entre el oro, la plata y el cobre con la química.			
	2	Enuncia los beneficios económicos, tecnológicos y sociales que genera la minería en México.			
	3	Muestra los riesgos ambientales o los problemas sociales que genera la práctica de la minería.			
	4	Hay coherencia (el desarrollo de todo el trabajo gira en torno a un tema) y cohesión (las ideas se relacionan entre sí).			
	5	Las palabras clave: oro, plata, cobre, química y minería aparecen en la infografía.			
Estructura	6	Presenta al menos dos referencias consultadas, debidamente consignadas en formato APA.			
	7	La infografía desarrolla una estructura de introducción-desarrollo-cierre.			
	8	Hay un equilibrio y una relación en el uso de ambos códigos (escrito y visual).			
Estilo	9	Hay menos de 5 errores ortográficos.			
	10	Maneja una terminología acorde con el tema que desarrolla.			

Referencias consultadas

- Atkins, P. y Jones, L. (2012). *Principios de química: Los caminos del descubrimiento*. Buenos Aires: Editorial médica panamericana.
- Alegría, M. (2005). *Cómo leer la ciencia para todos (Géneros discursivos)*. México: SEP-FCE-Conacyt.
- Cassany, D. (1999). *Construir la escritura*. Barcelona: Paidós.
- Concha, E. (2017). Minería global contemporánea o financiarizada. *Ola Financiera*, 10 (27), 81-116.
- Chang, R. (2000). *Química inorgánica descriptiva*. México: Pearson Educación.
- Delgado, G. (2010). América Latina y el Caribe como reservas estratégicas de minerales. En Delgado, G. (coord.), *Ecología política de la Minería en América Latina*. (17-58). México: CEIICH-UNAM.
- Gasque, Laura, “Oro, plata y cobre”, publicado en *¿Cómo ves?*, Año 16, Núm. 189, pp. 16-19 UNAM, Cd. de México 2014.
- García Parejo, I. (coord.) (2011). *Escribir textos expositivos en el aula. Fundamentación teórica y secuencias didácticas para diferentes niveles*. Barcelona: Graò.
- Jiménez-Aleixandre, M. (2009). *Enseñar ciencias*. Barcelona: Graò.
- Gutiérrez, E., Rodríguez, O., y Carmona, C. (2015). *La química en tus manos*. vol. I. Ciudad de México: ENP -UNAM.

- Rodríguez, F. y Zúñiga, E. (2021). “Guía de estudio de balanceo de reacciones de óxido-reducción”. *Química inorgánica* (aula virtual). Ciudad de México: FES Cuatitlán/UNAM. Disponible en: <https://cutt.ly/GQuibCq>
- Romero, L. (2019, 18 de febrero). “Aportación hispano-mexicana a la Tabla Periódica de elementos”. *Gaceta UNAM*. 5-221. Disponible en: <https://cutt.ly/GmKdWgK>
- Servicio Geológico Mexicano. (2018). *Anuario estadístico de la minería mexicana*. Ciudad de México: Subsecretaría de Minería del SGM.
- México Minero (portal electrónico). Disponible en: <https://mexicominero.org/>
- Tamayo, L. (2014). “La minería de tajo a cielo abierto en México: una nueva forma de colonialismo”. *Nómadas. Critical Journal of Social and Juridical Sciences*. 44(4). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=18153277002>
- Treviño, M. (2012). “Los caminos de la plata”. *Actas: Revista de historia*, núm.10, 24-35. Disponible en: <https://rac.db.ua.nl.mx/id/eprint/188/>
- Universidad de Alicante (campus virtual). “Espejo de Plata”. España: Departamento de Química Orgánica. Alicante. Disponible en: <https://dqino.ua.es/es/laboratorio-virtual/el-espejo-de-plata.html>

Lectura 3: La crisis de los fertilizantes

QUÍMICA III

UNIDAD 3. CONTROL DE LOS PROCESOS INDUSTRIALES EN LA FABRICACIÓN DE PRODUCTOS ESTRATÉGICOS PARA EL PAÍS

Estrategia III. Una aproximación a los procesos químicos: los fertilizantes

Presentación

En esta estrategia se abordan algunos aspectos relacionados con la industria de los fertilizantes; temática que dota de contexto a la tercera unidad del plan de estudios de la asignatura de Química III de la ENCCH. Concretamente, se pretende cubrir los siguientes aprendizajes, presentes en el plan de estudios actualizado de la asignatura:

El alumno:

- A1. Reconoce las dificultades de rendimiento de la reacción que tuvo en sus inicios la producción de amoníaco y otros productos estratégicos al analizar información y elaborar un proyecto relacionado con la industria de los fertilizantes (ENCCH, 2016, p. 26).
- A9. Predice hacia donde se desplaza el equilibrio, con ayuda del principio *Le Chatelier*, al analizar cambios en variables, como la presión, la temperatura o la concentración, de algunas reacciones químicas (ENCCH, 2016, p. 29).

Con la revisión y problematización del texto divulgativo, se favorece el entendimiento de las implicaciones científicas, sociales y ambientales de la industria de los fertilizantes. Asimismo, al estudiar experimentalmente la reacción de producción amoníaco (un producto estratégico en la producción de fertilizantes), los alumnos pueden reforzar nociones clave relacionadas con el tema de equilibrio químico, como es el caso de los factores que afectan el desplazamiento de una reacción química.

Sinopsis

“La crisis de los fertilizantes” de Guillermo Murray Tortarolo, Víctor J. Jaramillo y Guillermo Murray Prisant, aborda la relación entre los fertilizantes sintéticos —cuya base

de producción son los fosfatos— y las tecnologías agrícolas, ello para hacer las tierras de cultivo más fértiles. En el texto se menciona que estos productos químicos favorecen la producción alimentaria mundial, pero su exacerbado y descontrolado uso está provocando severos problemas medioambientales y sociales.



Imagen 23. El uso de biofertilizantes puede contribuir a mantener la producción agrícola y disminuir el uso de fertilizantes sintéticos (García, 2016). Disponible en: <https://cutt.ly/bm0E323>

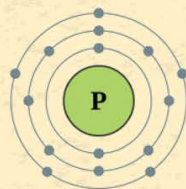
Ficha de referencia

Murray Tortarolo, Guillermo, Víctor J. Jaramillo y Guillermo Murray Prisant, “La crisis de los fertilizantes”, publicado en *¿Cómo ves?*, Año 17, Núm. 195, pp. 26-29, UNAM, Cd. de México 2015.

La crisis de los fertilizantes

Por Guillermo Murray Tortarolo, Víctor J. Jaramillo
y Guillermo Murray Prisant

La producción de fertilizantes que contienen fósforo es necesaria en la agricultura y a la vez muy perjudicial para el medio ambiente. Resolver este problema implica transformar el uso de esos fertilizantes y buscar otras formas de hacer los suelos más fértiles.



En poco más de 100 años la población humana se ha sextuplicado, en buena medida gracias al desarrollo de las tecnologías agrícolas y particularmente por el descubrimiento y aplicación de los fertilizantes sintéticos. ¿Qué pasaría si se terminaran los fertilizantes, se podría mantener esta población? ¿Habría suficientes alimentos para los 9000 millones de personas que se calcula vivirán en la Tierra a finales de esta década?

Las respuestas dependen totalmente de nuestra forma de entender el sistema de producción de alimentos y las acciones que tomemos. El uso de fertilizantes tradicionales, como guano de murciélago o estiércol animal, no es suficiente para cubrir los requisitos alimenticios de las sociedades actuales. No por nada los fertilizantes sintéticos se han convertido en algo central del sistema capitalista. Sus componentes químicos y cómo funcionan en la producción agrícola son parte de la historia de la comida y del desarrollo humano.

Todo fertilizante tiene dos elementos fundamentales: el nitrógeno, que normalmente se administra como nitrato de amonio, y el fósforo, que se usa como fosfato, además de otros elementos en menor cantidad: azufre, potasio y magnesio, principalmente.

Del ciclo del nitrógeno ya hemos hablado en *¿Cómo ves?* (No. 170), pero lo importante es recordar que este elemento puede obtenerse de la atmósfera y por ello es un recurso prácticamente ilimitado. La historia del fósforo es en cambio mucho más complicada y el tema central de este artículo.

La presencia del fósforo

Lo primero que viene a la mente de muchos de nosotros al escuchar la pala-



En parte gracias a los fertilizantes sintéticos, descubiertos a principio del siglo XX, la población humana se ha sextuplicado. (Foto: Singkham/Shutterstock)

bra "fósforo" son esos palitos de madera con una punta inflamable hecha de ese elemento y que usamos normalmente para encender la estufa o el calentador. A menos que se trate de un agrónomo, un edafólogo o un ecólogo, raramente pensa-



mos en el fósforo como elemento químico; sin embargo está en nuestro cuerpo, en nuestros alimentos y en cada ser vivo de este planeta. Es para la vida lo que las baterías alcalinas son para cualquiera de nuestros aparatos electrónicos: energía. En todos los seres vivos se encuentra presente en una molécula llamada trifosfato de adenosina (ATP, por sus siglas en inglés) que es la “moneda” energética de la vida.

El fósforo es responsable de que nuestro cabello brille por comer mucho pescado, junto con el calcio le da la dureza a nuestros huesos y dientes, ayuda a limpiar los desechos de los riñones y evita

los calambres musculares luego de hacer mucho ejercicio (por eso nos dicen “cómete un plátano” cuando nos acalambamos, ya que este alimento es rico en fósforo y potasio). En la dieta de los seres humanos rara vez escasea, pero no es así en el resto de la naturaleza. Este elemento se encuentra en proporciones pequeñísimas en la mayoría de los ecosistemas, sobre todo en las plantas que luchan para poder obtenerlo, mantenerlo y utilizarlo del mejor modo posible. Un incremento en el fósforo en casi cualquier ecosistema lleva a un rápido aumento de su productividad. Tal es el caso del plancton en el océano

abierto y de las plantas en las selvas tropicales.

La escasez de fósforo en la naturaleza afecta los cultivos y para solucionarla se crearon los fertilizantes sintéticos con base en dicho elemento: los fosfatos. Sin embargo, su extracción de las rocas que lo contienen, su aplicación y su “escape” a otros ecosistemas han provocado graves problemas sociales y ambientales. No por nada Johan Röckstrom y colaboradores catalogaron —en un artículo publicado en la revista *Nature* en septiembre de 2009— los impactos humanos en el ciclo del fósforo como uno de los 10 peores problemas ambientales de la actualidad. De acuerdo con sus cálculos, en 2009 estábamos al 90% de la capacidad planetaria para absorber ese impacto. Actualmente nos encontramos cerca del 101% y si las proyecciones a futuro son correctas, para el 2050 habremos rebasado esta barrera hasta en 300%. Evidentemente, con estos escenarios algo debe hacerse para tener una agricultura global sosten-

table. Por suerte las primeras soluciones parecen estar surgiendo. Pero ¿por qué la sobreabundancia de fósforo es dañina para el medio ambiente y en consecuencia para nosotros?

Extracción y destrucción

A diferencia de otros componentes de los fertilizantes que se pueden producir artificialmente, como el nitrógeno y el azufre, el fósforo que se utiliza en los fertilizantes sólo puede ser extraído directamente de la roca fosfórica. Como toda actividad minera, ésta tiene graves efectos ambientales como la contaminación de ríos y lagos y la destrucción masiva de hábitats. Esto se debe a los jales de las minas, que son los residuos de rocas molidas que quedan una vez que los minerales de interés se han extraído y son sumamente contaminantes. Resulta terrible que para mantener la producción agrícola y mantener a los seres humanos, estemos destruyendo la vida en otros lugares.

Extraer fósforo también provoca un problema social, pues los yacimientos de roca fosfórica no están distribuidos homogéneamente en el mundo, sino que el 90% de todas las minas de fósforo se concentran en cinco países: Estados Unidos, China, Sudáfrica, Jordania y Marruecos. Este oligopolio conlleva una serie de problemas socioeconómicos; entre los principales se encuentra la fluctuación en los precios y la escasez alimentaria en los países que no pueden pagar por estos fertilizantes, mismos que han ido en aumento constante y vertiginoso en los últimos 10 años. Así ocurre en una enorme porción de África, particularmente en el norte; países como Somalia o Etiopía dependen del fósforo pero no tienen dinero para adquirirlo. De hecho, la baja productividad agrícola de estas regiones se debe principalmente a la falta de nutrientes en el suelo y no de agua como podría pensarse, y ha sido la razón de algunas de las hambrunas más terribles del último siglo.

Además, como todo mineral, la roca fosfórica es un recurso no-renovable. Para poder adecuar la producción agraria moderna de manera que alimente a los 9000 millones de personas que se calcula habrá en 2020, se necesitará extraer el doble de lo que se obtiene actualmente. Con este ritmo es muy probable que los



La falta de fósforo en las plantas afecta su crecimiento y puede manifestarse con zonas azuladas o moradas en las hojas más viejas. (Foto: Agronom)



Para solucionar la escasez de fósforo en los cultivos se crearon fertilizantes sintéticos, los fosfatos. (Foto: Isagani Serrano/IRRI)

yacimientos se hayan agotado para finales del siglo XXI. Está claro que la agricultura dependiente de los fertilizantes sintéticos no es sustentable y que son necesarias otras alternativas y una mejor regulación en el uso de los fosfatos.

Sin regulación ni medida

A pesar del enorme conocimiento actual de los cultivos, sobre sus requisitos nutricionales, las temperaturas máximas, mínimas y óptimas para su crecimiento, el nivel de humedad y de luz que necesitan, por ejemplo, los métodos de aplicación de los fertilizantes a nivel global siguen siendo en su mayoría muy poco rigurosos. Si bien hay casos como los de las grandes áreas agrícolas de los Estados Unidos o de los invernaderos de hidroponía, donde la aplicación de fertilizantes está mucho mejor controlada, a nivel mundial y en especial en los países del tercer mundo, los fertilizantes se aplican “a ojo de buen cubero” y la consecuencia suele ser que se utilizan en exceso. Esto no sólo aumenta su precio, sino que es el comienzo de una cadena de fuertes impactos ambientales. En primer lugar se da una sobreacumulación de fósforo en los suelos y las plantas que crecen en ellos sufren por deficiencias de otros elementos. Y debido a que el fósforo se moviliza muy lentamente en el suelo, el problema puede durar varios años consecutivos afectando notoriamente el rendimiento agrícola del lugar.

Además, una parte de los fertilizantes aplicados se pierde, pues el fósforo tiene dos maneras de “escaparse” de los cultivos: en forma de polvo y en forma líquida, y los efectos y consecuencias ambientales de cada una son distintos. El transporte de fósforo por el viento puede alcanzar grandes áreas y hacer que pequeñas partículas de polvo cargadas de este elemento lleguen a ecosistemas ubicados a cientos de kilómetros del lugar de origen y se depositen en sitios donde el fósforo es escaso. A veces ésta es una consecuencia afortunada, pues puede aumentar la productividad, la captura de carbono y la salud de la vegetación no agrícola. Pero en la mayoría de los lugares el exceso de nutrientes provoca el crecimiento desmedido de sólo ciertas especies de plantas y disminuye la diversidad del ecosistema. Por ejemplo, en un artículo publicado en

la revista *Ecology* en 2010, Ilyas Siddique, entonces investigador posdoctoral del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM, y sus colaboradores de distintas partes del mundo reportaron haber encontrado que un aumento en el depósito atmosférico de fósforo disminuía la diversidad de plantas en ecosistemas tropicales húmedos. Dicha investigación mostró que las especies de crecimiento lento, las que suelen crecer en el bosque maduro, no pueden competir exitosamente con las de crecimiento rápido y se ven desplazadas.

Por otro lado, el fósforo también puede escapar en suspensión o disuelto en el agua a través del subsuelo, hacia ríos y lagos y llegar hasta el mar. Al igual que en la tierra, en los cuerpos marinos existen especies de algas y plantas adaptadas a la vida con bajos niveles de este elemento. La entrada de fósforo a los cuerpos de agua debida al uso excesivo de fertilizantes enriquece el ecosistema (fenómeno conocido como eutrofización, ver *¿Cómo ves?* No. 134) y permite el crecimiento de otras algas que eliminan a las demás y disminuyen la biodiversidad. Además, este incremento en los nutrientes produce un aumento en la biomasa de las algas, creando turbiedad en los cuerpos de agua.

Prácticas agrícolas alternativas

La perspectiva actual indica que es necesario un cambio en la forma de producir alimentos. Las comunidades científicas y las de los productores agrícolas de todo el mundo se han percatado del problema y han sugerido distintas soluciones innovadoras. Es evidente que el sistema productivo no puede disminuir su rendimiento, más bien todo lo contrario, pero se pueden realizar acciones para reducir las pérdidas y reciclar el fósforo. Algunas de las propuestas son mejorar el uso de



El uso intensivo de fósforo en fertilizantes en la zona fue uno de los factores que llevó a un crecimiento desmedido de algas dañinas en el Lago Eerie, Ontario, Canadá, en el 2009. (Foto: Tom Archer; fuente: Michigan Sea Grant)



Al aplicar fertilizantes fosfatados por goteo se garantiza que llegue la cantidad necesaria para la planta y se evita su acumulación en el suelo. (Foto: C. Schubert/CCAFA)

los fertilizantes fosfatados por parte de las plantas y precisar su tiempo de aplicación, usar los huesos del ganado como fertilizantes y reciclar los desperdicios humanos. Lo primero se puede lograr de dos formas: mejorando la capacidad de las plantas para absorber y distribuir el fósforo internamente, y mediante un cambio en las temporadas de aplicación de los fertilizantes. Algo afín a esta propuesta es modificar el sistema agrícola actual; por ejemplo aplicar fertilizantes fosfatados por goteo, lo que garantiza que llegue la



cantidad necesaria para la planta y se evite la acumulación en el suelo. Sin embargo, ésta y otras soluciones pueden resultar bastante caras, especialmente para los países en desarrollo.

Quizá una de las mejores soluciones al problema de la crisis de los fertilizantes sea el reci-

podremos imaginar que gran parte del fósforo que se utiliza originalmente como fertilizante termina en nuestras cañerías. Entonces ¿por qué no utilizar los desechos humanos como fertilizante? Esa es la pregunta que la comunidad científica se ha planteado recientemente. Los primeros resultados parecen bastante prometedores y en el Reino Unido se ha instalado la

primera planta de reciclado. En el pueblo de Berkshire esta planta lleva a cabo un proceso químico que permite recuperar 20% del fósforo que se necesita para la agricultura de la región. Y no sólo eso, la compañía productora genera un ingreso superior a los 4000 000 de pesos anuales, ¡y todo a partir del excremento de los pobladores! No cabe duda que esta es una idea que podría cambiar nuestro entendimiento del sistema de producción agrícola y de los residuos humanos.

En el caso particular de México, el acceso a los fertilizantes fosfatados se ha vuelto cada vez más complicado debido sobre todo al aumento en el precio. Como resultado ha disminuido la producción agrícola, principalmente la de los pequeños productores. Algunas de las propuestas mencionadas y la tecnología necesaria están disponibles en el país, son de bajo costo y podrían representar grandes oportunidades de inversión.

Elementos en conjunto

El sistema planetario funciona como un todo; los ciclos del nitrógeno, del carbono y del fósforo están ligados en todos los procesos metabólicos de la vida en los diversos ecosistemas del planeta. Las acciones humanas que afectan a alguno de ellos tienen como consecuencia un efecto directo o indirecto sobre los demás seres vivos y su medio ambiente. Por ello los impactos de los desequilibrios en los nutrientes son siempre similares: disminución en la biodiversidad, aumento de especies dañinas para los seres humanos

Al generar soluciones que disminuyan el impacto humano sobre el ciclo del fósforo, también se aminoran los impactos sobre los ciclos de otros elementos. (Foto: Wake Up World)

clado y hay dos formas para hacerlo. La primera es moler los huesos de los animales utilizados como ganado y transformarlos en polvo que puede aplicarse como fertilizante a los cultivos. Esta

solución, propuesta por Andrew Simons y colaboradores de Nueva York y Etiopía, publicada en la revista *Nature* en enero de 2014, podría ser la clave en el largo plazo. Los autores hicieron un sencillo cálculo para Etiopía y mostraron que utilizando los huesos de los animales se podría satisfacer hasta el 60% de las necesidades de fertilizantes del país. Esto podría aplicarse en casi todos los países en desarrollo y ser una solución temporal al problema.

La última propuesta es una solución viable y permanente: reciclar los desperdicios humanos. Si pensamos que los residuos de todo el alimento producido tienen como destino final el drenaje, también

MÁS INFORMACIÓN

- Revista Digital Universitaria, Volumen 13, número 7, "Micorrizas: una gran unión debajo del suelo" www.revista.unam.mx/vol.13/num7/art72/art72.pdf
- Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América, A.C. "Ciclo del fósforo" www.ciceana.org.mx/recursos/Ciclo_del_%20fosforo.pdf
- International Plant Nutrition Institute, "Funciones del fósforo en las plantas" [www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/7EFD356D05AA06EA05256A31007595F9/\\$file/Funciones+del+Fósforo.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/7EFD356D05AA06EA05256A31007595F9/$file/Funciones+del+Fósforo.pdf)

y un planeta más inestable e impredecible, además de las consecuencias para la salud y el bienestar humano que conlleva la alteración de estas cadenas naturales.

La solución de la crisis ambiental actual debe ser integral y tomar en cuenta las interacciones entre sus elementos. Para solucionar el problema debemos atender todos sus componentes individuales, pero esto no se puede hacer por separado, tiene que ser en conjunto. Al generar soluciones que disminuyan el impacto humano sobre el ciclo del fósforo, también se aminoran los impactos sobre los ciclos de otros elementos. Por ejemplo al reciclar los huesos de los animales o los desperdicios humanos, con lo que además se obtiene una ganancia monetaria y ambiental. Este tipo de soluciones son las que en el largo plazo demostrarán ser las más eficientes y las que se necesita aplicar en nuestro país. Sólo se requiere visión y decisión para hacerlo. ➤

Guillermo Murray Tortarolo es maestro en ciencias biológicas por la UNAM; actualmente cursa un doctorado en matemáticas en la Universidad de Exeter, Inglaterra.

Victor J. Jaramillo es investigador en el Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM, experto en biogeoquímica de ecosistemas tropicales. Ha impartido cursos en licenciatura y posgrado y participado en el Programa Internacional de la Geosfera-Biosfera y el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).

Guillermo Murray Prisant es psicólogo y se ha desempeñado como escritor, periodista, divulgador y fotógrafo. Entre sus libros destacan *Mundo invisible*, *Huellas de dinosaurio* y *Leyendas del Popocatepeti*.

Actividades de aprendizaje

Estrategia III. Una aproximación a los procesos químicos: los fertilizantes

I. Activación de conocimientos previos

1. Para explorar los **conocimientos previos** sobre el tema, completa el siguiente organizador gráfico; considera llenar los rubros por medio de palabras, frases o ideas.

¿Qué son?	¿Cuáles son sus componentes?	¿Qué relación tienen con el estudio de la química?
¿Qué riesgos puede implicar su uso?	Los fertilizantes	¿Qué beneficios ofrece su uso?
Comúnmente, ¿dónde se utilizan?	¿Para qué sirven?	¿Qué tipo de fertilizantes conoces?

2. Identifica los **conceptos**, **palabras** o **frases** que generen dudas o no comprendas y anótalos en el cuadro siguiente de forma ordenada (tal como van apareciendo en el texto).

Exploración de palabras y frases que generan dudas en el texto	
Palabras, frases o conceptos	Enunciados o frases en los que se inserta la palabra o el concepto

II. Análisis de contenidos

En esta sección y con la guía de tu profesor¹, analizarás los contenidos más relevantes presentes en el material de lectura seleccionado.

Probablemente, la lectura del texto te permitió realizar algunos **supuestos** en torno a los fertilizantes. Para dar seguimiento a lo anterior contesta lo siguiente.

¹ Para las actividades de esta sección, se recomienda el trabajo cooperativo y colaborativo en pequeños grupos. Con ello se fomenta el diálogo, la interacción, la construcción de acuerdos y la responsabilidad en el trabajo escolar.

3. Desde tu perspectiva, ¿en qué radica la importancia del tema que se aborda en el texto “La crisis de los fertilizantes”?
4. En parejas comenten y enuncien dos aspectos que comprendan con seguridad del contenido del artículo divulgativo.

A.
B.

Otro aspecto esencial en todo proceso de análisis textual es detectar el **problema** o **idea central**. Para llevar a cabo esta labor, realiza lo siguiente:

5. Lee con mayor detenimiento el artículo e identifica las **ideas centrales** de cada apartado o subtítulo. Recopila la información en el siguiente organizador gráfico añadiendo dos ideas centrales de cada apartado.

Apartados	Idea número	Idea central
La presencia del fósforo		
Extracción y destrucción		

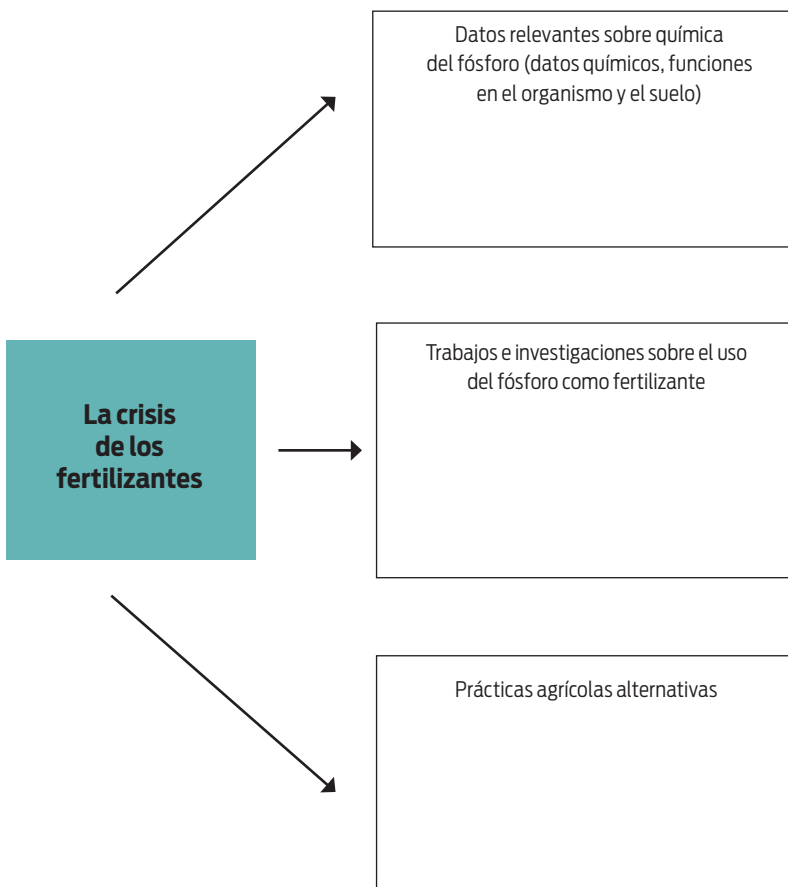
Sin regulación ni medida		
Prácticas agrícolas alternativas		
Elementos en conjunto		

6. De acuerdo con lo recopilado en el cuadro anterior, ¿cuál consideras que es la idea central de este texto? Es decir, ¿cuál es el tema principal que aborda el artículo? Redáctala con tus propias palabras. Puedes empezar así:

El artículo "La crisis de los fertilizantes" señala/expone/evidencia/aborda... Lo anterior se sustenta en que el texto...

Todo artículo científico o divulgativo apela a la objetividad, claridad y veracidad de la información que lo sustenta. Las siguientes actividades tienen como propósito identificar los **datos, evidencias y respaldos** que utilizan los autores al presentar diferentes aspectos sobre la temática expuesta.

7. En el siguiente esquema enlisten la **información relevante** (datos importantes sobre la química del fósforo, trabajos e investigaciones sobre el uso de este elemento como fertilizante y prácticas agrícolas alternativas) que se menciona en el texto al abordar diferentes aspectos sobre los fertilizantes.



8. A partir del análisis que se ha hecho del material de lectura en clase, ¿consideran que existe coherencia entre el contenido, los subtítulos, las imágenes, los recuadros y la forma de presentar la información en el texto?

La formulación de **inferencias** es otra habilidad asociada con la comprensión lectora y el pensamiento crítico. Una forma de dar seguimiento a estos constructos cognitivos es mediante el reconocimiento del posicionamiento de los autores con respecto al tema abordado en un texto, la construcción de argumentos o conclusiones y la formulación de cuestionamientos. Las siguientes actividades tienen como finalidad incentivar la formulación de inferencias sobre el texto trabajado en clase.

9. A partir de lo leído, ¿cuál es el posicionamiento de los autores sobre el tema? Descríbelo brevemente con tus propias palabras. Toma como guía en tu redacción lo siguiente:

Considero que la posición que los autores del artículo divulgativo “La crisis de los fertilizantes” toman en su texto es... lo anterior lo sustentó en...

10. En la siguiente tabla enuncia un argumento a favor y otro en contra sobre la posición que adoptan los autores del texto sobre los fertilizantes. Procura que tus argu-

mentos estén basados en información objetiva y veraz, además de estar redactados de forma clara y coherente.

Para la redacción de los argumentos solicitados toma como guía el encabezado presente en cada columna de la tabla:

Argumento a favor sobre la posición de los autores en torno al tema de fertilizantes	Argumento en contra sobre la posición de los autores en torno al tema de fertilizantes
Estoy a favor de lo enunciado por los autores o considero pertinente su postura en torno al tema de fertilizantes porque...	Estoy en contra o me parece cuestionable lo enunciado por los autores en torno al tema de fertilizantes porque...

Otro aspecto clave en todo proceso de análisis textual es identificar el **propósito** que busca cumplir un texto, esto es, el motivo por el cual los autores decidieron escribirlo y difundirlo en una publicación específica. De acuerdo con lo anterior, redacten un breve párrafo, guiándose por las preguntas siguientes:

11. ¿Por qué creen que los autores escribieron el artículo “La crisis de los fertilizantes”? ¿Cuál es la intención o propósito que buscan generar en el público lector? Pueden iniciar de la siguiente manera:

El propósito de este artículo de divulgación científica, “La crisis de los fertilizantes” es...
Lo anterior se basa en...

III. Problematicación del texto divulgativo

En esta sección, se abordarán aspectos conceptuales y contextuales que guardan relación con la temática estudiada en el material de lectura. Esto con el propósito de reafirmar su comprensión y proporcionar elementos que coadyuven a la adquisición de una posición informada².

Como se menciona en el artículo divulgativo “La crisis de los fertilizantes”, todos los fertilizantes contienen al menos dos elementos: fósforo y nitrógeno en diferentes concentraciones. El texto enfatiza el papel del fósforo en estos agroquímicos. Sin embargo, los autores de esta antología consideramos relevante referenciar también aspectos relacionados con el nitrógeno. Un elemento que en forma de amoníaco (NH_3) ha sido un precursor químico relevante en la síntesis de los fertilizantes. Para ello, se plantea una actividad experimental breve, basada en el estudio del equilibrio del amoníaco, la cual permite dar cauce a contenidos relacionados con los factores que afectan el desplazamiento

² Se recomienda implementar las actividades en un esquema didáctico basado en el trabajo colaborativo y cooperativo. En la actividad experimental, se sugiere solicitar previamente a los estudiantes un diagrama de flujo sobre las reacciones que habrán de efectuarse en el laboratorio.

de una reacción, como es el caso de la concentración. Posteriormente, se propone la realización de algunas actividades que tienen como propósito fomentar la indagación sobre la dimensión socioambiental del tema.

3.1 Problematicación conceptual

Actividad experimental: Equilibrio químico del amoníaco (NH_3), materia prima de los fertilizantes nitrogenados

Objetivo

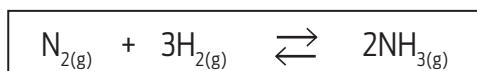
- Los alumnos estudiarán un sistema en equilibrio donde participa el amoníaco, sustancia utilizada en la síntesis de fertilizantes.
- Los estudiantes reconocerán el efecto de la concentración en el equilibrio químico del amoníaco acuoso.

Introducción

Un fertilizante es un compuesto que puede ser de origen natural o sintético, el cual debe contener al menos, cinco por ciento de uno o más de los tres nutrientes primarios del suelo (nitrógeno, fósforo y potasio). El nitrógeno es un elemento esencial en la química del suelo, ya que constituye el motor de crecimiento de los organismos vegetales. Este elemento es absorbido en la superficie terrestre cuando for-

ma iones nitrato (NO_3^-) o iones amonio (NH_4^+). En las plantas, se combina con otros componentes que se derivan del metabolismo vegetal y forman los aminoácidos que dan origen a las proteínas. También, está involucrado en todos los procesos biológicos implicados en el desarrollo de los organismos vegetales, razón por la cual es un componente de primer orden en la síntesis de fertilizantes.

Los denominados fertilizantes nitrogenados contienen altas concentraciones de este elemento, siendo el amoniaco la materia prima de su fabricación. La síntesis de amoniaco a partir de hidrógeno y nitrógeno es una reacción que se desprende del proceso *Haber*. En este, el H_2 y N_2 reaccionan a presión y temperatura altas en presencia de un catalizador, produciendo amoniaco (NH_3), tal como se muestra en la siguiente reacción:



La síntesis del amoniaco puede considerarse como un proceso reversible, en el que los reactivos reaccionan para formar productos y estos, a su vez, vuelven a reaccionar, generando nuevamente, los reactivos o materia prima del proceso. En consecuencia, hablar de equilibrio remite a conceptualizar ciertas reacciones químicas como sistemas dinámicos en el que existe un intercambio de concentraciones entre reactivos y productos. Se dice que una reacción alcanza el equilibrio cuando las concentraciones de reactivos y productos no

varían o permanecen constantes. Una forma de representar lo anterior es mediante la siguiente expresión:



Las letras **a**, **b**, **c** y **d** representan los coeficientes estequiométricos, mientras que las letras **A** y **B** hacen referencia a los reactivos, y **C** y **D** a los productos. La doble flecha simboliza la condición de reversibilidad antes mencionada. Ahora bien, uno de los factores que influye en un sistema en equilibrio es la concentración de las especies químicas implicadas. La relación entre las concentraciones presentes en un sistema en equilibrio se puede expresar matemáticamente como un cociente de la expresión anterior:

$$K = \frac{[C]^c [D]^d}{[A]^a [B]^b}$$

A esta expresión matemática se le conoce también como Ley de acción de masas y nos indica que: en cualquier reacción que alcance el equilibrio químico, el cociente entre el producto de las concentraciones de los productos y el producto de las concentraciones de los reactivos elevados a sus respectivos coeficientes estequiométricos es igual a una constante, llamada también constante de equilibrio de una reacción (Atkins, 2012). La expresión de la constante de equilibrio del *proceso Haber* se muestra a continuación:

$$K = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}$$

←———— productos
 ←———— reactivos

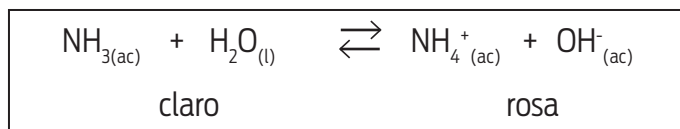
El valor de la constante de equilibrio indica si una reacción se ve favorecida hacia la formación de productos o reactivos. De esta manera:

- Si el valor de $K > 1$ el equilibrio está desplazado hacia la formación de productos (hacia la derecha). Así, la transformación de reactivos a productos será más favorable cuanto mayor sea el valor de K .
- Si el valor de $K < 1$ el equilibrio está desplazado hacia los reactivos (hacia la izquierda). Así, la transformación de reactivos a productos será más desfavorable entre más pequeño sea el valor de K .

La importancia de conocer el valor de la constante de equilibrio (K) de un proceso químico radica en que permite calcular las concentraciones máximas de productos para una concentración de reactivos dada. Por otra parte, para inferir la dirección en que se desplazará una reacción en equilibrio cuando hay un cambio de concentración, presión, volumen o temperatura, se puede aplicar el principio de *Le Chatelier* que establece lo siguiente: “si se aplica una tensión o cambio externo a un sistema en equilibrio, el sistema se ajusta de tal manera que se reduce el efecto de este cambio” (Chang, 2010). Específicamente, en lo relacionado al efecto de una variación en las concentraciones de un sistema, el principio

de *Le Chatelier* apunta que modificar las concentraciones en una reacción en equilibrio puede alterar esa condición drásticamente, pero con el paso del tiempo el sistema se regenera hasta eliminar el efecto provocado por esta perturbación.

En esta actividad experimental se estudiará el efecto de la variación en la concentración de una de las especies químicas presentes en una disolución acuosa de amoníaco (NH_3), que está en equilibrio con el ion amonio. La reacción de este proceso se muestra a continuación:



Se observará que, al aumentar la concentración de iones amonio el equilibrio de la reacción se ve alterado, provocando un exceso en la concentración de productos y favoreciendo el desplazamiento hacia la formación de reactivos. Se considera que favorecer la comprensión de esta reacción específica, contribuye a robustecer en las aulas el dominio del comportamiento químico del amoníaco en disolución, una de las sustancias ampliamente utilizadas en el laboratorio químico escolar y en la fabricación de fertilizantes.

Materiales y sustancias

Materiales	Sustancias
1 tubo de ensayo	NH_4Cl
1 espátula	Fenolftaleína
1 matraz Erlenmeyer de 10 mL	H_2O destilada
2 pipetas beral 3 mL	NH_3



Imagen 24. Aspecto de los materiales y sustancias utilizados en este experimento.

Procedimiento

- En un matraz Erlenmeyer coloca 4 gotas de $\text{NH}_3(\text{ac})$ concentrado (5M) y agrega 3 gotas de fenolftaleína, posteriormente agrega agua destilada hasta completar 25mL. Mezcla la solución y agita fuertemente.
- Toma 2mL de la solución preparada en el paso anterior y colócala en un tubo de ensayo.
- Adiciona al tubo de ensayo media espátula de NH_4Cl .
- Registra tus observaciones.



Imagen 25. Aspecto de las coloraciones obtenidas en las dos disoluciones amoniales preparadas en esta actividad experimental.

Resultados

Completa la siguiente tabla con tus observaciones.

Actividad Experimental	Observaciones
Amoniaco acuoso	
Tubo de ensayo al adicionar (NH_4Cl)	

Manejo de residuos

- Investiga previamente las propiedades físicas y las toxicidades de las sustancias empleadas.
- Coloca todos los residuos que generaste en esta actividad experimental en el contenedor que te indique tu profesor.

Análisis de resultados

A partir de lo observado en la actividad experimental resuelve el siguiente cuestionario, el cual te servirá para reforzar aprendizajes en torno al amoníaco y su relación con la industria de los fertilizantes.

12. En la disolución preparada en el matraz Erlenmeyer ¿hacia dónde se desplazó el equilibrio? Justifica tu respuesta.
13. Representa la expresión matemática de la constante de equilibrio de esta reacción.
14. ¿Hacia dónde desplaza el equilibrio con el exceso de iones $[\text{NH}_4]^+$? Justifica tu respuesta.
15. Investiga tres fertilizantes nitrogenados y menciona el porcentaje de este elemento en dichos productos agroquímicos.
16. Sintetiza y esquematiza el ciclo del nitrógeno, señalando la importancia que tiene este elemento en la química del suelo.

3.2 Problematicación contextual

En esta sección, los alumnos realizarán una breve investigación documental relacionada con la dimensión CTS-A de la industria de los fertilizantes. Los alumnos buscarán datos y cifras en torno al consumo de fertilizantes en México. Posteriormente, indagarán sobre algunas problemáticas am-

bientales que se asocian con estos productos químicos y sobre la importancia que ha adquirido en los últimos años el uso de los biofertilizantes³.

Fertilizantes en México

Las plantas requieren para su crecimiento y metabolismo 15 elementos químicos que pueden clasificarse como primarios, secundarios y terciarios. Los elementos primarios en el metabolismo vegetal son seis: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y potasio. Dentro del grupo de elementos secundarios se encuentra el calcio, el magnesio y el azufre. Mientras que los elementos terciarios son el boro, cloro, cobre, hierro, manganeso y zinc.

Los fertilizantes pueden definirse como sustancias químicas derivadas de la actividad industrial, las cuales favorecen cadenas productivas ligadas con la agricultura. En su composición poseen al menos tres elementos químicos: nitrógeno, fósforo y potasio. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el mundo se consumen cerca de 250 millones de toneladas de fertilizantes, siendo los principales productores Estados Unidos, China, Rusia y Canadá (FAO, 2020).

³ Para la realización de las actividades, se recomienda que los estudiantes accedan a dos sitios: el portal web del Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA) para obtener de datos estadísticos, y el portal Ciencia UNAM para abordar aspectos sobre los biofertilizantes. CEDRSSA: http://www.cedrssa.gob.mx/post_n-fertilizantes-n.htm#home y Ciencia UNAM: http://ciencia.unam.mx/leer/570/Asi_funcionan_los_biofertilizantes

En México, la producción de fertilizantes químicos se inició en 1915. Actualmente, la producción y el uso de fertilizantes sólidos es mayor que el uso de líquidos y gases. Los fertilizantes más usados en territorio nacional son la urea, el sulfato de amonio, el DAP (fosfato diamónico) y los denominados superfosfatos, que se caracterizan por sus altas concentraciones de compuestos fosforados.



Imagen 26. El fertilizante más usado en el campo mexicano es la urea. Disponible en: <https://cutt.ly/9m023Q9>

En nuestro país, el empleo de fertilizantes es un dato variable a lo largo del territorio nacional; su consumo se ha concentrado en áreas específicas donde se desarrolla una agricultura intensa, como en algunas zonas del Bajío y del Noroeste. De acuerdo con sondeos de la Sagarpa (2018), el 68% del suelo cultivado en el país utiliza fertilizantes, siendo los productos agrícolas más representativos el maíz, el sorgo, el frijol y el trigo.

Breve investigación documental

17. Completa la siguiente tabla con algunos datos estadísticos en torno a la industria de los fertilizantes en México. Se recomienda acceder al portal del CEDRSSA (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria) para recopilar datos. El enlace es el siguiente: http://www.cedrssa.gob.mx/post_n-fertilizantes-n.htm#home

Datos y cifras sobre los Fertilizantes en México	
Porcentaje de fertilizantes importados y producidos en el país.	
Fertilizante de mayor consumo en México y países de donde son importados.	
Producción aproximada anual de fertilizantes fosfatados en México.	
Significado de la mezcla NPK y cantidad que se consume de este fertilizante en México.	
Lista los cinco productos agrícolas de mayor producción en el país.	

Como se ha revisado en el texto divulgativo, los fertilizantes son productos químicos que han permitido aumentar la producción agrícola a nivel mundial. Pero, como otros productos

provenientes de la actividad científica industrial, su exacerbado uso está provocando algunos problemas ambientales.

18. Realicen en internet una revisión de sitios (agencias informativas o espacios divulgativos reconocidos) que aborden los problemas que puede ocasionar el uso excesivo de los fertilizantes en el suelo, los cuerpos de agua y la atmósfera. Sinteticen su información en una redacción propia de no más de 400 palabras en la cual expongan los resultados de su investigación. No olviden incluir citas empleando el formato APA. Tomen como guía para su redacción lo siguiente:

El uso continuo y en grandes cantidades de fertilizantes puede ocasionar diversos problemas ambientales, como...

Biofertilizantes

Un curso de acción que ha cobrado fuerza en los últimos años es el diseño y uso de los denominados biofertilizantes, un tipo de productos químicos hechos a base de microorganismos, como bacterias y hongos, los cuales ayudan de manera natural al crecimiento y producción de especies vegetales, así como a mejorar las condiciones del suelo (Bojórquez, 2010).

19. Investiga tres ventajas y tres desventajas que se asocian con el uso de los biofertilizantes. Redáctalos en la siguiente tabla.

Uso de biofertilizantes	
Ventajas	Desventajas
1.	1.
2.	2.
3.	3.

20. Ahora, a la luz de todo el trabajo emprendido en torno a los fertilizantes, redacten una breve conclusión (en no más de 10 renglones), sobre el valor que posee el estudio de esta temática en su formación científica en el Colegio.

IV. Producto final. Elaboración de un mapa conceptual

Como producto final, realizarás de forma individual un mapa conceptual de los contenidos del artículo "La crisis de los fertilizantes", esto con el objetivo de dar seguimiento a los aprendizajes generales construidos durante esta estrategia de lectura crítica.

¿Qué es un mapa conceptual?

Los **mapas conceptuales** son representaciones gráficas cuya finalidad es mostrar la selección, jerarquización y relación de la información que se obtiene de un texto base o tutor. Nos permiten organizar la información mediante la presentación de conceptos y las relaciones que se establecen entre estos.

Su importancia radica en identificar los conceptos clave de un tema y establecer relaciones, de lo general a lo particular, entre estos conceptos o conocimientos. Los elementos con los cuales se construyen los mapas conceptuales son básicamente tres:

- a) Conceptos. Son las imágenes mentales, ideas o palabras clave; se colocan en círculos o rectángulos.
- b) Palabras enlace. Son las conjunciones, preposiciones o verbos que unen y relacionan los conceptos; se colocan cerca de las líneas que vinculan los conceptos.
- c) Propositiones. Son las frases que se forman al unir los conceptos.

Algunos autores sugieren el uso de colores para establecer las jerarquías y la inclusión de una imagen que acompañe las propositiones.

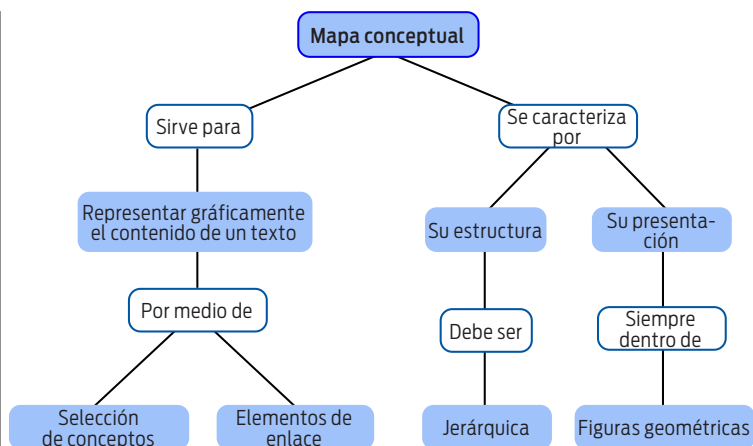


Imagen 27. Ejemplo de un mapa conceptual. Disponible en: <https://bit.ly/371fluA>

Para realizar un mapa conceptual considera:

- Leer e identificar la información o los conceptos esenciales del contenido del texto.
- Seleccionar y jerarquizar la información (conceptos, ideas) de lo general a lo particular.
- Hacer una planificación del mapa, tratando de simplificar lo que presentarás.

Para plasmar la información en tu mapa:

1. Coloca el título o la idea central al centro mismo de la hoja o en la parte superior. Es la idea base de tu trabajo.
2. Organiza los subtemas o aquellos aspectos generales que presentarán información específica mediante ramificaciones. Puede ser en el orden de las manecillas del reloj, dentro de recuadros o círculos.

3. Desglosa los subtemas, es decir, separa información específica mediante ramificaciones.
4. La información debe mostrar la relación jerárquica, de tal suerte que también puede exponer la inclusión de enlaces cruzados, esto es, las relaciones entre conceptos de diferentes segmentos o dominios del mapa.
5. Actualmente existen programas en internet que te permitirán realizar tus mapas conceptuales, algunos son CmapTools, Goconqr, Mindmeister, Lucidchart o Canva, aunque también puedes realizarlos en dos programas de la paquetería Office: Word y Power Point.
6. Diseña tu mapa conceptual considerando: originalidad; selección y jerarquización de conceptos o palabras clave; uso de tipografía legible; empleo de conectores que permitan la relación entre conceptos; paleta de colores o imágenes que posibiliten el contraste, sin que esto resulte molesto.
7. Al final, revisa que tu mapa conceptual:
 - Esté redactado con claridad y sin errores de ortografía.
 - Se apegue al tema solicitado.
 - Muestre con claridad un equilibrio jerárquico.
 - Contenga un título, así como tus datos (nombre y grupo).
 - Que la información presente una gradualidad en su desarrollo.
 - Presente las fuentes consultadas en formato APA.

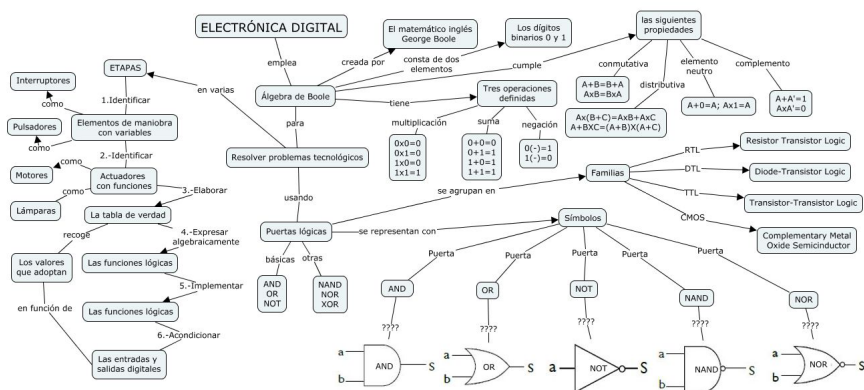


Imagen 28. Ejemplo de un mapa conceptual. Disponible en: <https://bit.ly/3i2XUi0>

Si tienes dudas sobre cómo realizar tu mapa conceptual, puedes revisar alguno de los siguientes enlaces:

- CCH-UNAM. Sitio del estudiante. Estrategias de aprendizaje. Disponible en: <https://www.cch.unam.mx/estudiante/estrategias-de-aprendizaje>
- Lucidchart. ¿Qué es un mapa conceptual? Disponible en: <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-mapa-conceptual>

Para la elaboración del mapa conceptual sobre los fertilizantes considera los siguientes lineamientos:

- Debe indicar una definición, la composición y los principales usos de los fertilizantes.
- Se debe aludir a aspectos generales sobre el fósforo, como su extracción, usos, beneficios e impactos en el medio ambiente.
- Hacer mención sobre las implicaciones económicas, ambientales y sociales que genera el uso de fertilizantes.

A continuación, se presenta un ejemplo de un mapa conceptual, con el objetivo de fungir como guía en la realización del producto final de esta estrategia.

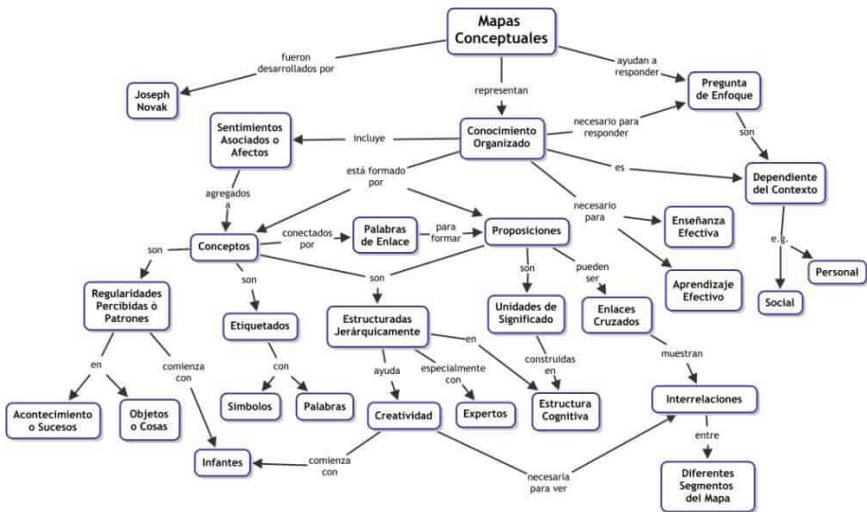


Imagen 29. Segundo ejemplo sobre mapa conceptual.

Disponible en: <https://bit.ly/2UQ89xx>

Coevaluación del mapa conceptual

Nombre: _____ Grupo: _____ Fecha: _____ Coevalúa: _____

Instrucciones: Intercambia, lee y coevalúa el mapa conceptual de uno de tus pares; empleando esta lista de cotejo.

Categoría	Número	Criterio	Cumple		Observaciones
			Sí	No	
Estructura, contenido y estilo	1	Jerarquización: ¿el mapa presenta los conceptos o palabras clave colocados en la parte superior, que subordinan a los específicos, colocados debajo de cada concepto general?			
	2	Diferenciación progresiva: ¿la jerarquización permite diferenciar las distintas partes que lo constituyen?			
	3	Reconciliación integradora: ¿el mapa sintetiza el conjunto de conceptos del tema?			
	4	Impacto visual: ¿la presentación gráfica muestra claridad y es fácil de leer?			
	5	¿Las palabras clave (fertilizantes, fósforo, nitrogenados, problemas ambientales, biofertilizantes, entre otras se encuentran presentes en el mapa?			
	6	¿El mapa contiene título, usa tipografía legible y las líneas o formas permiten establecer relaciones entre los elementos?			
	7	¿Los conectores son los adecuados y permiten establecer una relación entre conceptos?			
	8	¿La información presenta coherencia (el desarrollo de todo el trabajo gira entorno a un tema) y cohesión (las ideas se relacionan entre sí)?			
	9	¿Para su realización se empleó alguno de los programas mencionados u otro similar?			
	10	¿Hay menos de 5 errores ortográficos?			

Referencias consultadas

- Atkins, P. y Jones, L. (2012). *Principios de química: Los caminos del descubrimiento*. Buenos Aires: Editorial médica Panamericana.
- Alegría, M. (2005). *Cómo leer la ciencia para todos (Géneros discursivos)*. México: SEP-FCE-Conacyt.
- Bojórquez, A. D., Gutiérrez, C., Báez, J., Sánchez, M., Montoya, L., y Pérez, E. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible*, 6(1), 51-56.
- CEDRSSA. (2018, diciembre). *Fertilizantes*. Ciudad de México: Cámara de Diputados LXIV Legislatura-Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Disponible en: <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/9/59NOTAS%20SOBRE%20FERTILIZANTES.pdf>
- Chang, R. (2010). *Fundamentos de química*. México: McGraw-Hill
- FAO. (2020). *Statistical Yearbook. World Food and Agriculture*. Roma. Disponible en: <http://www.fao.org/3/cb1329en/CB1329EN.pdf>
- FAO-Asociación Internacional de la Industria de los fertilizantes. (2002). *Fertilizantes y su uso*. Roma: FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- Jiménez-Aleixandre, M. (2009). *Enseñar ciencias*. Barcelona: Graò.

Murray Tortarolo, Guillermo, Víctor J. Jaramillo y Guillermo Murray Prisant, “La crisis de los fertilizantes”, publicado en *¿Cómo ves?*, Año 17, Núm. 195, pp. 26- 29, UNAM, Cd. de México 2015.

García, D. (2012). *Biofertilizantes*. México: Dirección General de Comunicación Social-Radio UNAM. Disponible en: <https://www.dint.unam.mx/blog/index.php/item/3175-biofertilizantes>

SADER-SIAP. (2018). *Expectativas agroalimentarias 2019*. Ciudad de México: SADER-SIAP. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/Brochure%20Expectativas%202019.pdf>

Santillán, M. (2016). “Así funcionan los biofertilizantes”. *Ciencia UNAM*. Ciudad de México: DGDC-UNAM. Disponible en: http://ciencia.unam.mx/leer/570/Asi_funcionan_los_biofertilizantes

Zariñán Medina, I. (s/f). *Organizadores gráficos. Estrategias metodológicas para la comprensión lectora*. Ciudad de México: Grandes ideas siglo XXI.

Lectura 4: Fracking beneficios fugaces... ¿daños permanentes?

QUÍMICA IV

UNIDAD 1. EL PETRÓLEO, RECURSO NATURAL Y FUENTE DE COMPUESTOS DE CARBONO PARA LA INDUSTRIA QUÍMICA

Estrategia IV. Fracking, ¿una técnica eficiente o devastadora?

Presentación

En esta estrategia de lectura crítica, se abordan cuestiones relacionadas con el fracking, una técnica de extracción de hidrocarburos cuya implementación ha sido foco de debate a nivel mundial en los últimos años. El abordaje del fracking resulta oportuno para la revisión de contenidos rela-

cionados con el estudio del petróleo y sus derivados, presentes en la primera unidad del curso de Química IV de la ENCCH. Los aprendizajes que se busca cubrir con el análisis y problematización del texto divulgativo seleccionado son:

El alumno:

- A1. Reconoce la importancia del petróleo y sus derivados como fuente de productos e intermediarios al indagar información, expresar y argumentar sus ideas relacionadas con el aprovechamiento de este recurso (ENCCH, 2016, p. 33).
- A4. Reconoce la importancia de los petroquímicos básicos al identificarlos en las cadenas productivas (ENCCH, 2016, p. 34).
- A19. Reconoce la importancia de realizar acciones para solucionar los problemas de contaminación ambiental relacionados con la extracción y transformación del petróleo (ENCCH, 2016, p. 39).

Se pretende que, el alumnado indague sobre las propiedades fisicoquímicas del metano (producto principal del fracking), identifique los beneficios que provee su utilización y los contraste con los riesgos ambientales que este provoca. Ello con la finalidad de que adquieran una opinión informada sobre la viabilidad de esta polémica técnica extractiva. Se busca también que el estudiantado valore la importancia

que posee actualmente la industria petroquímica y la necesidad de aminorar y de diversificar el consumo de energía.

Sinopsis

La técnica de extracción de hidrocarburos denominada fracking o fracturación hidráulica, consiste en la extracción de gas de lutita (metano) mediante la perforación y explotación de extensas superficies de suelo. Esta técnica de extracción ha generado numerosas controversias por sus costos económicos, energéticos y socioambientales. La autora Verónica Guerrero Mothelet, expone en este artículo evidencias que ponen en entredicho su viabilidad.



Imagen 30. El fracking es una técnica de extracción de hidrocarburos con alto impacto ambiental (Paz, 2018). Disponible en: <https://cutt.ly/Mm9XInL>

Ficha de referencia

Guerrero Mothelet, Veronica, “Fracking, beneficios fugaces... ¿daños permanentes?”, publicado en *¿Cómo ves?*, Año 17, No. 198, pp. 10-14, UNAM, Cd. de México 2015.

FRACKING

Beneficios fugaces... ¿daños permanentes?

Por Verónica Guerrero Mothelet

UN PROCESO QUE PERMITE
LIBERAR EL PETRÓLEO Y EL
GAS ATRAPADOS EN ROCAS
DEL SUBSUELO, PERO QUE
TAMBIÉN PUEDE TENER
UN COSTO DEMASIADO
ALTO EN TÉRMINOS
ECONÓMICOS, ENERGÉTICOS
Y, PRINCIPALMENTE,
AMBIENTALES.

Nuestra sociedad sigue dependiendo mucho de los combustibles fósiles para actividades como la industria y el transporte. Dos de estos combustibles son el petróleo y el gas natural, recursos no renovables que desde hace 50 años se han extraído a un ritmo muy acelerado. Pero, como su nombre lo indica, estos recursos se van a acabar; tras alcanzar un máximo, el ritmo

de extracción ha comenzado a descender, y así continuará hasta que se agoten.

En las últimas décadas, el incremento en el precio del petróleo contribuyó al desarrollo de una crisis económica mundial e impulsó la idea de emplear una técnica de extracción, conocida desde los años 40, llamada fracturación hidráulica, o más coloquialmente *fracking*.

Sed de petróleo

Después de la Segunda Guerra Mundial el petróleo, que era accesible y relativamente barato, permitió un gran auge económico posibilitado por el veloz desarrollo tecnológico y la industrialización de muchas partes del planeta. Hacia 1965 la producción petrolera global se aceleró, pero desde 1979 su crecimiento comenzó a ser cada vez más lento hasta prácticamente estancarse.

Esto significa que se está agotando el petróleo que hemos usado hasta ahora, llamado convencional. Este petróleo se extrae con facilidad porque prácticamente fluye solo, debido a que se asienta en rocas muy porosas. Los inmensos yacimientos que contribuían con 80% de la producción mundial ya fueron descubiertos y explotados, y lo que queda por descubrir son

probablemente unos cuantos yacimientos mucho más pequeños.

Por esta razón, en varias partes del mundo ha comenzado a extraerse petróleo y gas llamados no convencionales: pequeñas gotas atrapadas en rocas conocidas como lutitas. De allí el nombre de petróleo o gas de lutita, también conocido como *shale*, o de esquisto. Esta forma de extracción ha provocado grandes controversias en muchos países, principalmente por la técnica con la que se lleva a cabo.

Fracturar las rocas

En entrevista con *¿Cómo ves?* el doctor Luca Ferrari, investigador del Centro de Geociencias del Instituto de Geología de la UNAM, en Juriquilla, explica que a diferencia de los yacimientos convencionales que se han explotado durante décadas, las rocas de lutita son impermeables. El gas y petróleo que contienen estas rocas sólo se pueden extraer fracturándolas.

La técnica de *fracking* consiste en excavar un pozo vertical para alcanzar la formación de rocas, que por lo general está constituida por capas horizontales o poco inclinadas. Luego el pozo se desvía y se hace horizontal. Desviar los pozos es una técnica que se usa desde hace décadas en



la industria petrolera, señala Ferrari. Ya con el pozo horizontal, la roca se fractura usando agua a alta presión y arena con compuestos químicos que sirven para que el hidrocarburo se haga más fluido y para mantener abierta la fractura y capturar las gotas de gas y petróleo atrapadas en la formación, incluso a una distancia de decenas de metros del pozo.

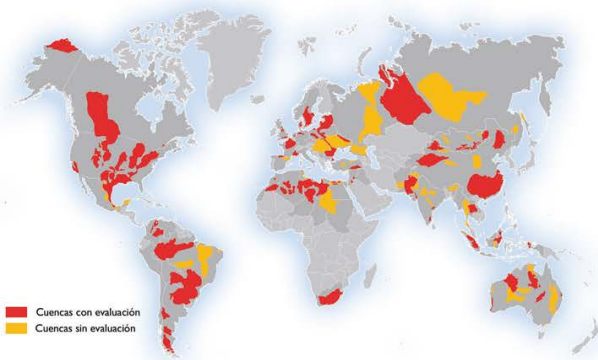
Aunque la técnica se ha perfeccionado en los últimos años, un pozo que se opera con *fracking* cuesta mucho más que uno convencional. Los yacimientos ya se conocían, pero estaban completamente fuera de mercado; es decir, desde el punto de vista económico no eran rentables, añade el doctor Ferrari. De hecho, el auge de esta técnica comenzó alrededor de 2008, cuando el precio del petróleo rebasó los 100 dólares por barril.

Sin embargo, el precio del petróleo ha vuelto a bajar muchísimo a partir del año pasado y se ha puesto en riesgo el futuro de esta industria en Estados Unidos, pues el costo promedio de este tipo de producción puede alcanzar los 90 dólares por barril, al tiempo que el precio actual de venta de cada barril es de menos de 50 dólares. Algunas empresas que tenían deudas están quebrando y si no sube el petróleo a más de 80 dólares el barril, este tipo de explotación es inviable, señala Ferrari.

En México se ha propuesto utilizar el *fracking* para extraer gas natural, combustible muy socorrido en la producción eléctrica. De hecho, más de la mitad de la energía eléctrica en México se produce actualmente con gas natural, dice Luca Ferrari, quien agrega que compartimos con Texas una formación rocosa llamada Eagle Ford, de la que Estados Unidos ha extraído más gas y petróleo no convencional. La parte de esa formación situada en territorio mexicano está entre Nuevo León, Coahuila y una porción de Tamaulipas, y es particularmente rica en gas, más que en petróleo. Por eso, según el especialista, se esperaba introducir el *fracking* en nuestro país para extraer más gas e importar menos. (México importa alrededor del 30% del gas que consumimos).

Las regiones donde se ha pensado explotar el gas de lutita son las zonas fronterizas entre Coahuila, Nuevo León,

Estudio de cuencas con formaciones de petróleo o gas de lutita



Fuente: US Energy Information Administration, US Geological Survey y Advanced Resources International.

Ilustraciones: Raúl Cruz Figueroa

Tamaulipas y posiblemente partes de Chihuahua y Veracruz. Pero Ferrari hace énfasis en que la relación entre costo de extracción y utilidad del gas no es nada prometedora porque éste se comenzó a producir masivamente en Texas hace cuatro o cinco años, lo que originó una sobreproducción y la correspondiente baja en el precio. Al bajar el precio del gas, esta técnica ya no es rentable.

Agua contaminada

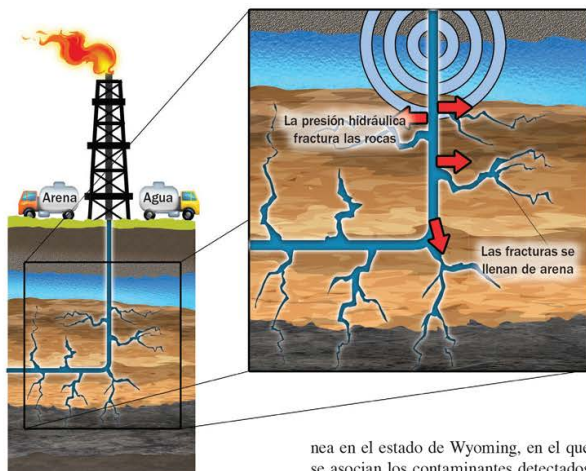
Hay varios problemas asociados con el *fracking*. Luca Ferrari señala que uno de ellos es que los pozos de los que se extraen petróleo y gas de lutita producen mucho menos que los tradicionales y se acaban muy pronto. Prácticamente se abandonan después de dos o tres años, porque la producción se vuelve mínima. Esto ha llevado a Estados Unidos a excavar decenas de miles de pozos.

Pero un problema mayor es el uso intensivo de agua. De acuerdo con un artículo publicado en la revista *Scientific American* en mayo de 2013, cada pozo de *fracking* requiere entre 7.5 millones y 26.5 millones de litros de agua. Es agua limpia que se contamina porque en el proceso se le agregan compuestos químicos, muchos de ellos tóxicos, cancerígenos o radiati-

vos. Se desconoce la cantidad e identidad exacta de las sustancias que se agregan al agua porque se consideran secreto industrial. Sin embargo, varios grupos de científicos estadounidenses, como el de la especialista en salud ambiental Theodora Colborn, del Instituto de Cambio y Alteración Endocrina de Colorado (TEDX por sus siglas en inglés), han calculado que se usan entre 600 y 750 ingredientes, desde compuestos relativamente inocuos como granos de café, hasta sustancias muy tóxicas como benceno, etano, plomo, arsénico, mercurio y ciertos compuestos orgánicos.

Estas sustancias pueden derramarse durante las operaciones de *fracking*, que se realizan en cada pozo más de una vez, o durante su traslado, pues en cada operación se mueven cientos de pipas de agua, así como camiones de arena y productos químicos. Tras cada operación, la mayor parte del líquido y de los contaminantes se queda en el subsuelo. El doctor Ramiro Rodríguez Castillo, investigador del Departamento de Recursos Naturales del Instituto de Geofísica de la UNAM, explica a *¿cómo ves?* que se recupera menos del 50% del agua que se usa. Y aun si se recuperara toda, por las sustancias que contiene el tratamiento para limpiarla sería demasiado costoso.

Fracturación hidráulica



Una forma de desechar esta agua residual contaminada es colocándola en depósitos similares a albercas, en los que por estar generalmente al aire libre se produce una evaporación de compuestos químicos que pueden ser tóxicos. Con todo, la solución más común, cuando menos en Estados Unidos, es reinyectarla en otros pozos. Aunque se supone que los pozos de *fracking* no van a contaminar los acuíferos, muchos de los compuestos utilizados son solubles en agua, por lo que además de contaminar el agua inyectada en el proceso, representan un riesgo para los mantos acuíferos si se produce alguna fuga o filtración.

En México, donde hasta ahora el *fracking* sólo se ha realizado de manera experimental, no hay estudios al respecto. Pero en Estados Unidos los científicos han comenzado a preocuparse por las consecuencias. De hecho, en ese país se ha encontrado agua contaminada cerca de las zonas de extracción. La Agencia de Protección Ambiental estadounidense (EPA, por sus siglas en inglés) publicó en 2011 un informe científico preliminar sobre contaminación del agua subterrá-

nea en el estado de Wyoming, en el que se asocian los contaminantes detectados con la fracturación hidráulica. Aunque en términos absolutos no se ha comprobado ni descartado que los fluidos de *fracking* puedan filtrarse por las grietas naturales o artificiales hasta los acuíferos, sí se ha verificado el riesgo de que parte de los 9000 millones de litros de agua contaminada que fluye cada día desde los pozos fracturados llegue a los cuerpos de agua cercanos; o bien, que haya filtraciones de un pozo mal aislado.

Avner Vengosh, de la Universidad Duke, dirige un equipo científico muy

activo en la búsqueda de evidencias de estos riesgos. Desde 2012, este grupo ha investigado tanto las probabilidades de contaminación de acuíferos y de otros cuerpos de agua, como la identidad de estos compuestos. El grupo ha demostrado que parte del agua residual de una de las formaciones más grandes de aquel país, llamada *Marcellus*, que está contaminada con altos niveles de radioactividad, fluye hacia los ríos de Pittsburg y de otras ciudades. En enero de 2014 el equipo descubrió un elevado nivel de amonio y yoduro, dos contaminantes potencialmente dañinos, en las aguas residuales que se descargan o se derraman en ríos y arroyos de Pensilvania y Virginia Occidental.

En palabras de Ramiro Rodríguez, “usando la lógica, los depósitos están debajo del acuífero, se inyectan a presión decenas de sustancias solubles en agua. Algo se puede colar, por más que lo quieran evitar”. Rodríguez agrega que en México tenemos además el gran problema de que no hay realmente una visión ambiental para manejar el agua, ni una clara normativa sobre los productos que se usan y su destino final, lo que incrementaría el riesgo.

El investigador añade que más del 70% del agua que se usa en México proviene del subsuelo y esto ha provocado que en el presente ya esté comprometida toda el agua que tenemos. No sobra como para darle un uso alternativo en grandes volúmenes. En este contexto, si la mayor parte de los yacimientos probables de este tipo de hidrocarburos se encuentran en la

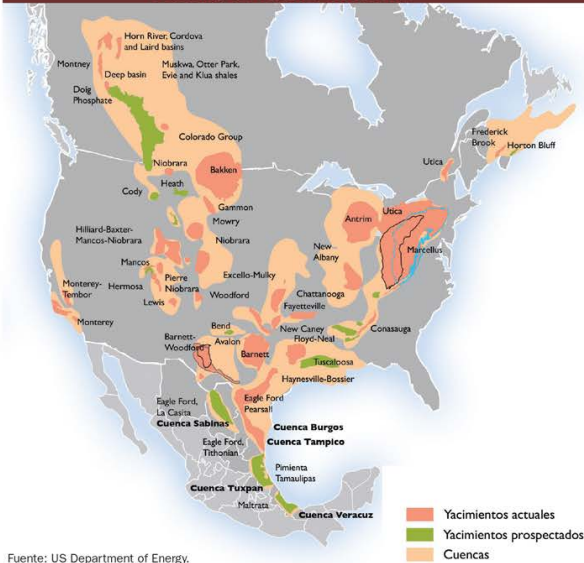


Vista aérea de zonas de extracción de recursos mediante *fracking* en Texas.

Foto: Amy Young



Fracking en nuestro continente



Fuente: US Department of Energy.

zona norte del país, que es mayormente seca, habría una competencia directa por el agua con fines agrícolas y humanos, pues los acuíferos de la zona noreste constituyen, para muchas regiones, la única fuente de abastecimiento.

Riesgos para la salud y el ambiente

La posible contaminación por las sustancias aplicadas al *fracking* no se limita al agua, también puede haber fugas al aire y al suelo. En 2013 Christine Coussens y sus colegas, del Instituto de Medicina de Estados Unidos, realizaron un estudio en el que encontraron cristales de sílice en el aire en una zona de fractura hidráulica. La sílice cristalina se asocia con padecimientos como silicosis y cáncer de pulmón, y un mayor riesgo de tuberculosis, enfermedades autoinmunes y problemas renales. El equipo de Coussens concluyó que los principales afectados eran los trabajadores de los pozos de *fracking*.

Entre los compuestos detectados por el TEDX en las aguas residuales del *fracking* se encontraron 353 de alto riesgo para la salud. De éstos, 75% afectan la piel, los ojos, el sistema respiratorio y el gastrointestinal, otro 50% es dañino para el sistema nervioso, el inmunitario y el cardiovascular, y 25% se asocia con cáncer y mutaciones genéticas. En septiembre de 2014 los Institutos Nacionales de Salud de Estados Unidos publicaron en la revista *Environmental Health Perspectives* los resultados de una encuesta de salud realizada en Pensilvania, donde se lleva a cabo mucha extracción de gas natural. La encuesta reveló que las personas que utilizaban agua de pozos cercanos a sitios de *fracking* padecen el doble de problemas respiratorios y de piel que los habitantes de otras zonas. La autora del estudio, Meredith Stowe, de la Universidad Yale, encontró que los síntomas reportados eran más comunes entre los residentes que vivían a menos de un kilómetro de los pozos.

Otro equipo dirigido por Thomas Darrah de la Universidad de Ohio identificó ocho grupos de pozos de agua potable contaminados con gas natural en Pensilvania y Texas. Entre sus hallazgos, publicados en 2014 en la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences*, está que en muchos casos los elevados niveles de gas natural se producen naturalmente, pero en ciertos casos hay evidencia de contaminación debida a defectos en el aislamiento y cementado de los pozos.

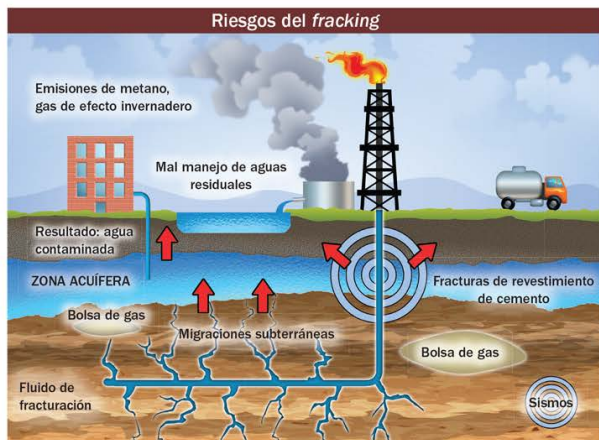
El problema de las emanaciones de gas natural es muy importante porque lo que se extrae es principalmente metano, gas de efecto invernadero entre 15 y 22 veces más poderoso que el dióxido de carbono. Una fuga de metano es peor que quemar los combustibles fósiles que producen el CO₂, observa el doctor Ferrari. Las fugas de metano de pozos y ductos, además de constituir un posible riesgo para la salud, empeoran el cambio climático por su capacidad de atrapar el calor en la atmósfera terrestre.

Sismos artificiales

La reinyección del agua residual en los pozos de descarga se ha vinculado además con sismos en Arkansas, Colorado, Ohio, Oklahoma y Texas, pues se piensa que el volumen y la presión del líquido reducen la resistencia al deslizamiento de las fallas geológicas. Por ejemplo, según un estudio de la Universidad Cornell publicado en julio de 2014 en la revista *Science*, en Oklahoma la actividad sísmica ha aumentado 40 veces desde 2008.

Aunque la mayoría de estos sismos parecen relacionarse con la reinyección de agua residual, también se ha sospechado del propio proceso de fracturación. Un grupo de la Universidad Miami en Ohio publicó en enero de 2015 un estudio en el *Bulletin of the Seismological Society of America* que vincula 77 sismos de entre 1 y 3 grados, registrados en Ohio durante marzo de 2014, con las operaciones de fracturación hidráulica en la zona, que activaron una falla geológica hasta entonces desconocida.

A pesar de que la mayoría de los sismos inducidos por el *fracking* son de magnitudes pequeñas, cuando la ex-



Más información

- Jaramillo, Jessica, "¿Qué es el fracking?", *Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, 2014; <http://cienciauanl.uanl.mx/?p=1649>
- Vargas Jiménez, Carlos A., "Fracking... ¿bueno o malo?", *Sociedad Colombiana de Geología*; www.sociedadcolombianadegeologia.org/pdf/Fracking%20-%20SCG.pdf

invocando el principio precautorio. Este principio recomienda adoptar medidas protectoras ante las sospechas fundadas de que ciertos productos o tecnologías puedan provocar un riesgo grave para la salud pública o el ambiente.

En palabras de Ferrari: "En los hechos estamos ante un problema serio como humanidad: la energía barata del petróleo convencional está por acabarse. La industria petrolera y del gas necesita mucho más dinero ahora para producir lo mismo que producía hace 10 años y evidentemente estamos rascando el fondo del barril". Utilizar el gas y el petróleo de lutas es, según el investigador, perpetuar el mismo modelo consumista basado en un recurso fósil, finito, no renovable y que cada vez es más sucio. Además, por su elevadísimo costo, el fracking desvía grandes cantidades de capital necesario para invertir en una verdadera transición energética hacia las energías renovables. "Para transformar nuestra economía global de los combustibles fósiles a las energías renovables se necesitan décadas, y ya tendríamos que haber empezado".



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.

Verónica Guerrero, aprendiz de filósofa, periodista y divulgadora de la ciencia, colabora en *¿Cómo ves?* y otras áreas de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia; es autora del blog *Paradigma XXI*.

plotación se lleva a cabo cerca de fallas activas, en muchos casos desconocidas, se pueden provocar temblores más intensos. En otra región del estado de Ohio los sismos han alcanzado los 4 grados de magnitud y de acuerdo con estudios realizados por Elizabeth Cochran e investigadores de las universidades de Oklahoma y Columbia, dos sismos de magnitud 5 y otro de magnitud 5.7 en Oklahoma están relacionados con las actividades de inyección de agua residual. Éstos son los mayores sismos asociados con estas actividades hasta hoy, y la posible explicación es que tras 20 años de *fracking* en la zona, tuvo que aumentarse la presión de la reinyección del agua para seguir inyectando los mismos volúmenes. Los científicos piensan que esa formación en particular, que ya estaba agotada y ahora servía como pozo de descarga, se llenó hasta el punto en que aumentó su presión interna, lo que probablemente disparó esos eventos a lo largo de un sistema de fallas geológicas naturales.

El fondo del barril

Este tipo de riesgos ha llevado a algunos países, estados y ciudades a establecer moratorias, que son demoras jurídicas de la autorización para realizar el *fracking* e

incluso a prohibirla por completo como Francia y Bulgaria. Otros países, entre ellos Alemania, los Países Bajos, Irlanda y Luxemburgo, han establecido moratorias, lo mismo que la provincia de Quebec, en Canadá, y Cataluña y La Rioja en España. En Estados Unidos, 442 condados han impuesto moratorias o restricciones y en diciembre de 2014 el estado de Nueva York se convirtió en el primero de ese país en prohibir la fracturación hidráulica en todo su territorio.

En México, la reciente reforma energética no legalizó específicamente el *fracking*, pero tampoco existe en el país ninguna restricción para aplicar esta técnica. De hecho Petróleos Mexicanos cuenta con algunos pozos exploratorios desde hace varios años. "En Estados Unidos han hecho más de 80 000 pozos en 10 años. Allí la explotación es masiva, pero aquí está apenas a nivel de exploración", señala el doctor Ferrari. Aun así, la reforma energética estableció un nuevo régimen de contratos a particulares, generando condiciones para la proliferación de proyectos de *fracking* en el país. Esto llevó a varios legisladores mexicanos de ambas cámaras a proponer, en 2014, una iniciativa de ley general para la prohibición de la fracturación hidráulica



Actividades de aprendizaje

Estrategia IV. Fracking, ¿una técnica eficiente o devastadora?

I. Activación de conocimientos previos

Para explorar tus conocimientos previos sobre el tema, contesta de forma individual lo siguiente:

1. ¿Has escuchado hablar sobre el fracking? Si es así redacta en tres o cuatro líneas lo que sabes sobre el tema.
2. Revisa el título, los subtítulos, los recuadros e imágenes presentes en el texto y contesta con tus propias palabras la siguiente pregunta: ¿Cuál es la temática central que se expone en este artículo divulgativo?
3. Efectúa una **lectura exploratoria** de forma individual del texto. Como una primera aproximación, ¿cuál consideras que es la relación de este material de lectura con el estudio de la química?
4. Después de la lectura, identifica las palabras, conceptos o frases que no entiendas o te generan confusión y anótalas en el cuadro siguiente.

Exploración de palabras y frases que generan dudas en el texto	
Palabras o conceptos	Enunciados o frases en los que se inserta la palabra o el concepto (contextualización)

II. Análisis de contenidos

En esta sección, los alumnos con el acompañamiento del profesor¹, analizarán los contenidos más relevantes presentes en el material de lectura seleccionado.

Seguramente, la lectura del texto te permitió realizar algunos **supuestos** en torno al fracking o fracturación hidráulica. Para dar seguimiento a lo anterior, contesten en equipos las siguientes preguntas:

- Desde su perspectiva, ¿cuál es la importancia de la temática abordada en el texto divulgativo?
- Expliquen dos aspectos que comprendan o dominen con seguridad que se mencionan en el artículo "Fracking. Beneficios fugaces... ¿daños permanentes?"

¹ Para las actividades de esta sección, se recomienda el trabajo cooperativo y colaborativo en pequeños grupos. Con ello se fomenta el diálogo, la interacción, la construcción de acuerdos y la responsabilidad en el trabajo escolar.

Sobre el fracking, es de mi conocimiento que:
1.
2.

Otro aspecto que se devela esencial en todo proceso de análisis textual es detectar el **problema** o **idea central** presente en un material de lectura. Para llevar a cabo esta labor con el artículo divulgativo revisado en esta estrategia de lectura efectúen lo siguiente:

7. Lean nuevamente y con mayor detenimiento el artículo e identifiquen la idea central de cada apartado o subtítulo presente en el texto. Recopila tu información en la siguiente tabla:

Subtítulo	Idea principal
▪ Sed de petróleo	
▪ Fracturar las rocas	
▪ Agua contaminada	

▪ Riesgos para la salud y el ambiente	
▪ Sismos artificiales	
▪ El fondo del barril	

8. Después de leer detenidamente la publicación divulgativa, ¿cuál consideran que es la idea central de este texto? En otras palabras, ¿cuál es el tema principal del que se habla en el artículo? Guía tu respuesta redactándola con tus propias palabras. Puedes empezar así:

El artículo "Fracking beneficios fugaces...¿Daños permanentes? habla/expone/evidencia/presenta

Todo artículo científico o divulgativo apela a la objetividad, claridad y veracidad de la **información** que lo sustenta. Las siguientes actividades tienen como propósito identificar los datos, evidencias y otros respaldos que utiliza el autor al presentar diferentes aspectos sobre la temática expuesta.

9. En la siguiente tabla enlisten la **información relevante** (datos químicos, opiniones de expertos, estudios científicos y otras evidencias) que utiliza la autora del texto divulgativo al presentar diferentes aspectos sobre la fracturación hidráulica.

Datos interesantes y estadísticas en torno al fracking	Información química (Sustancias implicadas en el fracking)
	Opiniones de expertos
	Estudios científicos e informes gubernamentales mencionados en el artículo divulgativo

10. A partir del análisis que se ha hecho del material de lectura en clase, ¿consideran que existe coherencia entre el contenido, los subtítulos, las imágenes, los recuadros y la forma de presentar la información en el texto? Justifiquen su respuesta.

La formulación de **inferencias** es otra habilidad básica asociada con la comprensión lectora y el pensamiento crítico. Una forma de dar seguimiento a este tipo de constructos cognitivos es mediante el reconocimiento del posicionamiento del autor sobre el tema abordado en un texto, la construcción de argumentos, conclusiones y la formulación de cuestionamientos. Las siguientes actividades tienen como finalidad incentivar la formulación de inferencias sobre el texto trabajado en clase.

11. A partir de lo leído, ¿cuál es el posicionamiento del autor sobre el tema? Descríbelo brevemente con tus propias palabras. Toma como guía en tu redacción lo siguiente:

Considero que la posición de la autora del artículo "Fracking beneficios fugaces... ¿daños permanentes?" es... lo anterior lo sustentó en...

12. En la siguiente tabla enuncia un argumento a favor y otro en contra, ya sea sobre la manera de presentar la información o sobre algunas afirmaciones que llamaron tu atención en el texto divulgativo. Es importante que los argumentos sean objetivos, veraces, además de estar redactados en forma clara y coherente.

Argumento a favor del texto divulgativo	Argumento en contra del texto divulgativo
Considero que el texto revisado en clase es pertinente/loable/novedoso/interesante/importante... porque...	Considero que el texto revisado en clase es cuestionable/ ambiguo/ incompleto/ controversial/poco relevante... porque...

Otro aspecto clave en todo proceso de análisis textual es identificar el **propósito** que busca cumplir un texto, esto es, el motivo por el cual la autora decidió escribirlo y difundirlo. Considerando lo anterior, redacten un breve párrafo guiándose por las siguientes preguntas:

13. ¿Por qué creen que la autora escribió el artículo “Fracking beneficios fugaces daños permanentes?” ¿Cuál es la intención o propósito que busca generar en el público lector? Pueden iniciar de la siguiente manera:

El propósito de este artículo de divulgación científica es... Lo anterior se basa en la siguiente información...

III. Problematicación del texto divulgativo

En esta sección se abordarán aspectos conceptuales y contextuales que guardan relación con la temática estudiada en el material de lectura. Esto con el propósito de reafirmar su comprensión y proporcionar elementos que coadyuven a la adquisición de una posición informada².

3.1 Problematicación conceptual

Actividad experimental: Obtención de metano en el laboratorio escolar

Objetivos

- Los alumnos obtendrán gas metano en el laboratorio escolar a partir de la reacción del acetato de sodio con cal sodada.
- Los estudiantes indagarán sobre algunas aplicaciones industriales del gas metano y sus implicaciones ambientales.

² Se recomienda implementar las actividades de esta sección en un esquema didáctico basado en el trabajo colaborativo y cooperativo. En la actividad experimental, se sugiere solicitar previamente a los estudiantes un diagrama de flujo sobre las reacciones que habrán de efectuarse en el laboratorio.

Introducción

El metano es el primer hidrocarburo de la familia de los alcanos. Su fórmula es CH_4 , por lo que cada átomo de carbono está unido a cuatro átomos de hidrógeno, dando lugar a una estructura tetraédrica con ángulos de enlace de 109.5° . En cuanto a sus propiedades físicas, se puede mencionar que es un gas más ligero que el aire, incoloro a temperatura ambiente y altamente inflamable. En la naturaleza se obtiene por la descomposición de materia orgánica en los pantanos y como un producto secundario en los procesos de extracción de petróleo.

Artificialmente, el metano se puede producir por fugas en instalaciones petroquímicas donde se produce gas natural; en minas subterráneas, donde se almacena y transporta carbón, así como en pozos donde se practica el fracking (Arellano, 2015). El metano es considerado uno de los gases de efecto invernadero de mayor relevancia. El efecto invernadero es un fenómeno que altera significativamente el proceso de absorción y emisión de radiación térmica en la atmósfera, una alteración que contribuye al denominado cambio climático (Molina y Sarukhán, 2017). La contribución del metano al efecto invernadero es veinte veces superior al dióxido de carbono. Además, es un gas moderadamente tóxico, cuando altas concentraciones de este hidrocarburo entran al organismo, pueden provocar asfixia, pérdida de la conciencia, vómitos y convulsiones.

A nivel industrial, el metano es relevante porque constituye el componente principal del gas natural. De ahí que sea el producto de mayor interés de la técnica extractiva fracking. Este hidrocarburo es utilizado como combustible en las turbinas de las plantas generadoras de electricidad. También se usa como materia prima en la producción a gran escala de sustancias químicas como el etanol, ácido acético, diclorometano, cloroformo y tetracloruro de carbono. Disolventes que son utilizados en la manufactura de diversos productos comerciales y en los laboratorios de investigación.

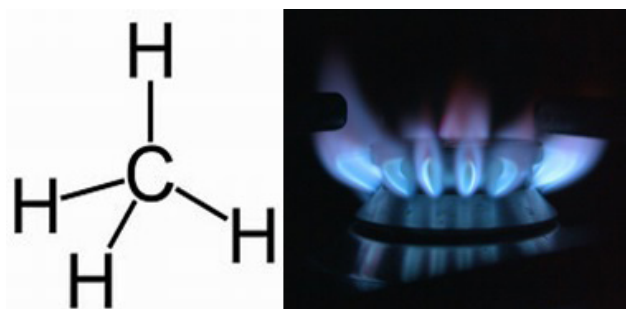


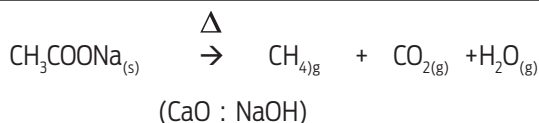
Imagen 31. Izquierda, representación de la molécula del metano. Derecha, combustión del gas natural, combustible de uso doméstico cuyo componente principal es el metano. Imágenes modificadas y tomadas de: <https://cutt.ly/Pm96hhF>

Es importante mencionar que no todo respecto al metano es negativo, ya que puede ser utilizado como una fuente de energía alternativa cuando se produce a pequeña escala a partir de residuos orgánicos. Al gas resultante se le denomina biogás y está compuesto por cerca del 70% de metano, entre el 20 y el 30% de dióxido de carbono y trazas de otros gases.



Imagen 32. El biogás constituye una fuente alternativa en la obtención de gas natural. Disponible en:
<https://cutt.ly/Im968XG>

En esta actividad experimental se producirán pequeñas cantidades de gas metano, a partir de la reacción entre una sal orgánica (el acetato de sodio) con cal sodada (una mezcla solida de óxido de calcio con hidróxido de sodio) en un dispositivo de desprendimiento. La reacción por efectuar se representa a continuación:



El gas metano será recuperado en un tubo de ensayo limpio y seco para, posteriormente, comprobar su propiedad inflamable al acercar la llama de un encendedor casero o cerillo encendido al tubo del que fue recuperado.



Imagen 33. Alumnos del CCH Sur, llevando a cabo la actividad experimental (2019).

Materiales y sustancias

Materiales	Sustancias
1 tubo de desprendimiento	CaO
2 tubos de ensayo	
1 tapón para tubo de ensayo	NaOH
1 vaso de precipitado de 250mL	CH ₃ COONa
3 vidrios de reloj	
1 espátula	
1 mechero de Bunsen	
1 soporte universal	
2 pinzas de tres dedos	
1 mortero con pistilo	
trozo de manguera de látex	
1 balanza digital	

Procedimiento

- i. Pesa 0.5g de óxido de calcio (CaO) en un vidrio de reloj.
- ii. Pesa 1g de hidróxido de sodio en un vidrio de reloj.
- iii. Coloca los 0.5g de CaO en el mortero. Posteriormente, coloca el gramo de NaOH en el mortero. Tritura y revuelve ambos sólidos usando el pistilo. A la mezcla resultante se le denomina cal sodada.
- iv. Pesa un gramo de acetato de sodio (CH_3COONa) en un vidrio de reloj. Luego, traslada el CH_3COONa al tubo de ensayo.
- v. Agrega al tubo de ensayo que contiene el acetato de sodio (CH_3COONa) la cal sodada que preparaste en el mortero.
- vi. Revuelve cuidadosamente ambos sólidos con la ayuda de la espátula o un agitador.
- vii. Conecta el trozo de manguera en el tubo de desprendimiento. Acto seguido, fija el tubo de desprendimiento al tubo de ensayo con la mezcla de reacción.
- viii. Monta el dispositivo, tal como se muestra en la siguiente imagen. Esto, para recuperar el gas metano que se producirá al calentar la mezcla de reacción.
- ix. Calienta la mezcla de reacción, presente en el dispositivo de desprendimiento, con el mechero de bunsen, en un lapso de 2 a 3 minutos. El tubo utilizado para recuperar el gas se tornará brumoso por la presencia del metano.

- x. Apaga el mechero, retira cuidadosamente el tubo brumoso en el que se recuperó el metano del vaso de precipitado con agua y sállalo herméticamente colocando el tapón de hule.
- xi. Acerca la llama de un encendedor doméstico a la boca del tubo en el que se recuperó al metano. Registra tus observaciones en la tabla de resultados.



Imagen 34. Izquierda. Dispositivo para recuperar el metano al calentar la mezcla de reacción. Derecha, prueba con un encendedor doméstico para corroborar su alta flammabilidad.

Resultados

Completa la siguiente tabla con tus observaciones de esta actividad experimental.

Gas producido (CH ₄)	Observaciones
Apariencia (color)	
Flamabilidad	

Manejo de residuos

- Investiga previamente las propiedades físicas y las toxicidades de las sustancias empleadas.
- No deseches los residuos de la mezcla de reacción presente en el dispositivo de desprendimiento, porque es tóxica. Vacía estos residuos en el contenedor que te proporcione el profesor para ser entregados a especialistas para su tratamiento e incineración.

Análisis de resultados

A partir de lo observado en la actividad experimental, completa el siguiente cuestionario para reforzar aprendizajes conceptuales sobre la química del metano y sus aplicaciones.

14. Con base en los postulados de la TRPECV (teoría de repulsión de pares electrónicos en la capa de valencia) y los aprendizajes construidos previamente en el salón de clases sobre los alcanos, completa la siguiente tabla sobre las propiedades químico-estructurales del metano.

Propiedades químicas	Metano (CH ₄)
Fórmula semidesarrollada	
Numero de enlaces (sencillos, dobles, triples)	
Número de dominios electrónicos	
Ángulos de enlace	
Geometría	
Hibridación	

15. Con excepción de las reacciones de combustión, los alcanos se caracterizan por tener baja reactividad. Con base en las propiedades químico-estructurales del metano que compilaron en la tabla anterior, expliquen brevemente a qué se debe su poca reactividad.
16. Investiga: ¿cuál es el porcentaje de metano en el gas natural y qué usos se le dan a este recurso energético?
17. Como se ha mencionado en el artículo divulgativo y en la introducción de esta actividad experimental, cuando el metano es producido por la quema de combustibles fósiles, se convierte en un importante gas de efecto invernadero. Investiga y explica brevemente:

¿cómo contribuye el efecto invernadero al denominado calentamiento global?

18. Tanto en el gas natural como en el biogás, el metano es el hidrocarburo que se encuentra en mayor porcentaje en su composición. Establece dos diferencias entre ambos recursos energéticos (toma como guía su uso y producción). Redacta tu respuesta en la siguiente tabla.

Diferencias	
Gas natural	Biogás
1.	1.
2.	2.

3.2 Problematicación contextual

Para conocer el contexto que gira en torno al tema abordado en el texto divulgativo, se proyectará en el salón de clases un par de videos de corta duración presentes en la plataforma YouTube. Posteriormente, los alumnos realizarán una breve investigación documental relacionada con la dimensión CTS-A del tema, así como un breve debate conducido y regulado por el docente.

El fracking en México

El gas shale o gas lutita es el producto principal de la técnica de extracción de hidrocarburos no convencionales denominado fracking. El gas lutita es básicamente gas natural, que se encuentra encapsulado en formaciones rocosas que datan de millones de años en la tierra. Los yacimientos de gas lutita son un sistema de rocas orgánicas arcillosas y poco permeables, que se encuentran a una distancia considerable de la superficie del suelo (de 1 a 5 km) y que almacenan altas concentraciones de metano (CH_4).

Según la Agencia Internacional de Energía (EIA, por sus siglas en inglés), México ocupa el sexto lugar en el mundo en reservas no probadas, pero técnicamente recuperables de gas lutita, con cerca de 600 billones de pies cúbicos (EIA, 2013). Las mayores reservas de este gas se encuentran en el norte del país, en estados como Chihuahua, Coahuila y Tamaulipas. Aunque, en menor medida, también destacan con reservas de hidrocarburos no convencionales los estados de San Luis Potosí, Veracruz, Puebla e Hidalgo. Específicamente, las reservas de gas lutita se agrupan en seis regiones del país localizadas en las entidades federativas antes mencionadas. Estas regiones son: 1) Tampico-Misantla, 2) Burgos Mesozoico, 3) Burro-Picachos, 4) Sabinas, 5) Veracruz y 6) Chihuahua. Tal como se muestra en el siguiente mapa.



Imagen 35. Regiones donde se localizan las mayores reservas de gas lutita en México (CNH, 2016).

Petróleos Mexicanos comenzó a hacer pruebas exploratorias de gas lutita a principios del año 2010, con la apertura de 5 pozos. Actualmente, se estima la existencia de cerca de 30 pozos exploratorios donde se practica la fracturación hidráulica, ubicados en las regiones geográficas antes mencionadas, lo que ha permitido la extracción de más de cinco mil millones de pies cúbicos de gas lutita en los últimos años. Una cantidad de hidrocarburos que representa una tasa de éxito del 25%. El bajo rendimiento se debe a que el costo de la implementación de pozos que son operados con fracking requiere de una inversión de 60% superior a los pozos de extracción convencionales.

Hoy en día, diversos sectores, principalmente empresariales, demandan que se amplíe la cobertura y la infraestructura necesarias para el despegue del fracking en México. Su petición está sustentada en el éxito económico

que ha tenido la aplicación de esta técnica extractiva en Estados Unidos desde 2008. Sin embargo, omiten los severos daños ambientales que ha provocado su operación en extensas regiones del mundo, los cuales van desde ligeros sismos hasta la devastación de amplias regiones de suelo y cuerpos de agua dulce (Estrada, 2013).

Ante la ausencia de un marco legal que permita la implementación de la fracturación hidráulica bajo una normatividad rigurosa en México y sus alarmantes riesgos ambientales, la mayoría de los expertos recomienda suspender la extracción de hidrocarburos no convencionales con el uso de esta técnica y mantener la extracción responsable de petroquímicos por métodos tradicionales. Invitan también a apostar por el aprovechamiento de fuentes de energía alternativas, como la energía eléctrica, eólica e inclusive nuclear (Pioquinto y Martínez, 2015).



Imagen 36. Pancarta en contra del fracking (Alianza mexicana contra el fracking). Disponible en: <https://cutt.ly/hm3kkxg>

La implementación de la fracturación hidráulica en México ha generado un fuerte debate entre los sectores implicados, ya que la aprobación de la más reciente Reforma Energética en México, ocurrida a finales de 2013, ofrece cierta permisibilidad, tanto a empresas nacionales como extranjeras, en la explotación de hidrocarburos no convencionales, a pesar de no contar con un marco regulatorio apropiado para ello. Actualmente el debate sigue abierto, por lo que es importante estar informado para comprender el rumbo y las implicaciones de este importante tema.

Revisión de videos sobre la implementación del fracking

Se recomienda que el docente proyecte en el aula dos videos cortos extraídos de YouTube³. El primero lleva por título “El fracking y sus consecuencias”. Corresponde a un documental de la Deutsche Welle (DW) —canal informativo de origen alemán— en el cual se presentan datos sobre la relevancia económica y política de esta polémica técnica de extracción de hidrocarburos, así como algunas de sus implicaciones ambientales.

³ Con la revisión de estos dos videos, se busca que los alumnos corroboren datos expuestos en el texto divulgativo y amplíen su información alrededor de la importancia económica, que actualmente posee la fracturación hidráulica en países como Estados Unidos, así como los severos daños ambientales que causa el uso de esta técnica. Esta actividad es crucial para preparar el escenario del debate sobre el tema.

- Deutsche Welle. (2014). “El fracking y sus consecuencias”. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=8oFUWZPI3ks>

El segundo video es un extracto del documental *La guerra del fracking* (2013) del connotado cineasta argentino Fernando “Pino” Solanas. En este se narra la problemática que padecen los habitantes de regiones agrícolas de Argentina por la implementación reciente y sorpresiva de pozos de fracturación hidráulica.

- Medios Libres Mexico. (2014). *La guerra del fracking*. (versión libre 20 minutos). México. Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=zPSOLMqLgWM&t=1s>

Escenario de debate: Viabilidad del fracking en México

Para crear un escenario de debate en torno a este tema, se llevará a cabo un caso simulado o simulación escolar (Gordillo, 2010). Los casos simulados son un término acuñado por el grupo asturiano Argo⁴, una comunidad de docentes adscritos a la OEI (Organización de Estados Iberoamericanos para la educación, la ciencia y la cultura). Estos escenarios guardan una estrecha relación con lo que en el campo de la didáctica se denomina juegos de rol, esto es, el planteamiento de una controversia extraída del ámbito científico, tecno-

⁴ <http://ibercienciaoei.org/casos.php>

lógico, económico o político en las aulas, pero cuya resolución es ficticia o simulada, porque se da con los elementos disponibles y el contexto de la educación científica escolar.



Imagen 37. Estudiantes del CCH Sur durante la discusión de un caso simulado sobre fracking en las clases de Química IV (2018).

El planteamiento de casos simulados se recomienda cuando se analiza una cuestión sociocientífica en el contexto escolar (Gordillo, 2003). Las ventajas que ofrece su aplicación es que suelen incentivar la argumentación, el debate y la participación en las aulas, habilidades necesarias en la enseñanza y adquisición del pensamiento crítico (Meinguer, 2018).

El caso simulado que se planteará en el aula es un debate sobre la viabilidad de la legalización de la fracturación hidráulica en México. Para que los alumnos preparen el debate, se les solicitará la elaboración de un breve informe sobre un aspecto clave alrededor de la controversia planteada. Para ello, el grupo se dividirá en cuatro equipos de cuatro a cinco integrantes; cada uno cubrirá un rubro específico sobre fracking, previamente asignado por el profesor. En su

desarrollo, los alumnos se apoyarán de datos e información presentes en el artículo divulgativo analizado en clase, en los videos proyectados y en fuentes adicionales consultadas en internet. Los aspectos que cubrirán en sus informes son:

- a. Beneficios que proporciona el fracking en la economía y en la demanda energética de México.
- b. Ventajas del uso del gas natural frente a otros combustibles fósiles.
- c. Consecuencias ambientales y sanitarias.
- d. Problemáticas sociales y políticas en regiones donde se ha implementado el fracking.

Se espera que los equipos que cubran aspectos relacionados con los beneficios económicos y energéticos se posicionen a favor de su implementación, mientras que aquellos que investiguen en torno a sus consecuencias ambientales, sanitarias y sociales se posicionen en contra. Es importante que, el rumbo que tomen los escritos de los estudiantes esté libre de recomendaciones o de la influencia del docente.

Para llevar a cabo el debate, es importante que previamente se definan las cuestiones logísticas implicadas en su organización, como el tiempo de intervención, el orden de participación, el número de intervenciones por equipo, así como las funciones del moderador. A continuación, se ofrece una propuesta para la conducción del debate de la controversia planteada y un instrumento para evaluar su

desarrollo. Los aspectos logísticos para llevar el debate a la práctica se muestran en la siguiente tabla.

Aspectos logísticos	Indicaciones
Orden de intervención en el debate	Los equipos intervendrán en el siguiente orden: 1) Beneficios económicos. 2) Consecuencias ambientales. 3) Ventajas del uso del gas natural. 4) Problemas sociales asociados al fracking.
Número de intervenciones	En el debate habrá tres rondas de intervenciones: La primera tendrá un tiempo más amplio. La segunda y tercera intervenciones dispondrán de un tiempo más corto.
Tipo de Intervenciones	Las intervenciones se orientarán de la siguiente manera: - La primera será utilizada para comunicar de forma sintética lo presentado en el informe y manifestar su posición (a favor o en contra) sobre la viabilidad de la legalización del fracking en México. - La segunda y tercera intervenciones serán utilizadas para replicar cuestionamientos u ofrecer argumentos que den fuerza al posicionamiento asumido del equipo sobre el fracking.
Tiempo de Intervención	Los tiempos de intervención en las tres rondas del debate se determinarán de la siguiente manera: - La primera intervención será de 6 minutos (4 minutos para exponer aspectos clave de su informe más dos minutos para manifestar su posición sobre la controversia planteada). - Las intervenciones restantes serán de 2 minutos. Cada equipo contará con un tiempo de intervención total de 10 minutos.
Moderador	Dado que el docente representa un modelo y figura de autoridad en el aula, será el encargado de moderar el debate.

Funciones del moderador	Sus funciones serán: • Otorgar la palabra en el orden establecido y cuidar los tiempos de intervención. • Enfatizar cuestionamientos, objeciones y peticiones de información surgidas durante el debate. • Mantener un clima de respeto y armonía. • Redactar una minuta o resumen de la información más relevante expuesta durante el debate.
Restricciones	Las restricciones que los alumnos habrán de considerar son: • Todos los integrantes del equipo de trabajo deben participar en el debate. Para ello, se recomienda que la mitad del equipo exponga lo concerniente al informe y otros dos tomen la palabra en las intervenciones cortas o aclaratorias. • Respetar el orden de intervención y los tiempos establecidos. • Deberán ser respetuosos, tolerantes, abiertos y constructivos, tanto al intervenir como al escuchar los argumentos de sus compañeros en el debate.

Como producto del debate, el docente solicitará a los estudiantes que realicen las siguientes actividades.

19. Completen la siguiente tabla, la cual tiene como objetivo resumir la información vertida en el debate. Para ello, redacten un argumento en torno a una idea o dato que les haya llamado la atención en cada eje temático. En la última fila de la tabla expliciten su posición final (a favor o en contra) sobre la controversia que orientó el debate: la viabilidad de la legalización del fracking en México. Es importante que su

posicionamiento final esté justificado y su redacción sea clara y coherente.

Eje temático	Argumento
1. Beneficios que proporciona a la economía y la demanda energética de México.	
2. Ventajas del uso del gas natural frente a otros combustibles fósiles.	
3. Consecuencias ambientales y sanitarias asociadas con la fracturación hidráulica.	
4. Problemáticas sociales y políticas en regiones donde se ha implementado.	
5. Posicionamiento final frente a la controversia debatida en clase.	

20. Tomando en cuenta todo el trabajo emprendido sobre el tema central expuesto en el texto divulgativo, redacten una breve conclusión (no más de 10 renglones), sobre el valor que posee el estudio de esta temática en particular en su formación científica en el Colegio.

Lista de cotejo para evaluar la participación en el debate

Nombre: _____ Grupo: _____ Fecha: _____ Coevalúan: _____

Instrucciones: Siguiendo las instrucciones de su profesor, coevalúen el desempeño del equipo o equipos durante el debate.

Categoría	Número	Criterio	Cumple		Observaciones
			Sí	No	
Estructura, contenido y estilo	1	¿Los miembros del equipo han mostrado un rol activo en el desarrollo del debate?			
	2	¿Los integrantes respetaron el orden y los tiempos de intervención establecidos?			
	3	¿La exposición de su informe fue clara y pertinente con la controversia planteada?			
	4	¿Se manifestó un posicionamiento claro en torno a la controversia?			
	5	¿Se defendió este posicionamiento con argumentos veraces y bien fundamentados?			
	6	¿Los argumentos expuestos contribuyeron a robustecer el análisis de la controversia planteada?			
	7	¿La actitud de los miembros del equipo ha sido respetuosa, cordial y tolerante con todos los participantes en el debate?			
	8	¿El equipo mostró capacidad para confrontar su posicionamiento, con planteamientos contrarios o disensos expresados por otros actores en el debate?			
	9	¿El léxico empleado por los integrantes refleja manejo del tema?			
	10	¿En ciertos momentos citaron autores, organizaciones o trabajos de investigación para darle sustento a las argumentaciones?			

IV. Producto final: Elaboración de un mapa mental

Como producto final, los alumnos realizarán de forma individual, un mapa mental sobre el fracking, con el objetivo de dar seguimiento a los aprendizajes generales construidos durante este proceso de lectura crítica.

¿Qué es un mapa mental?

El **mapa mental** es un esquema gráfico para extraer y memorizar información. Es una forma creativa y lógica que sirve para tomar notas y expresar ideas que consiste, literalmente, en cartografiar las reflexiones sobre un tema.

Al realizarlo deben considerarse cinco características esenciales:

1. El asunto, motivo de atención o núcleo se evidencia en una imagen central.
2. La imagen central irradia los principales temas o asuntos mediante una forma ramificada en la que se usan líneas.
3. Las ramas comprenden una imagen o palabra clave impresa sobre símbolos, palabras, colores e imágenes, para ilustrar conceptos sencillos y lógicos.
4. Los puntos de menor importancia se representan como ramas más simples, adheridas a las ramas superiores.
5. Las ramas forman una estructura nodal relacionada.

Los mapas mentales posibilitan transformar listas de datos en coloridos diagramas, fáciles de memorizar y perfectamente organizados, que funcionan de forma totalmente natural, del mismo modo que el cerebro humano.

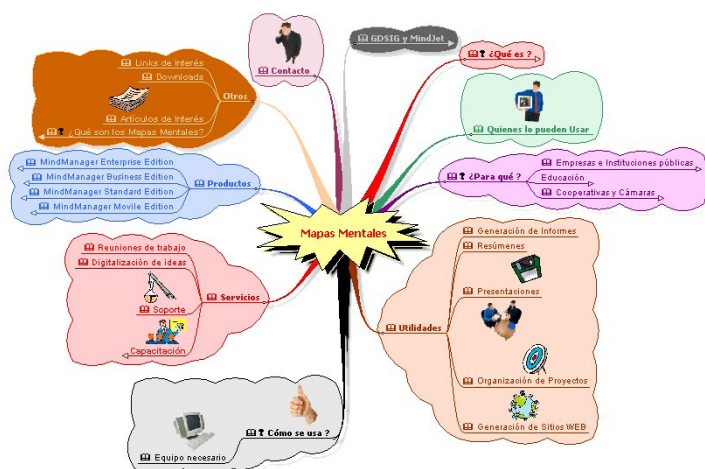


Imagen 38. Ejemplo de la organización de la información en un mapa mental.
Disponible en: <https://cutt.ly/CQivjbs>

Para entender mejor qué es un mapa mental, imaginemos el plano de una ciudad. El centro de la urbe representa la idea principal, las principales avenidas que llevan al centro representan las ideas, conceptos o nociones clave del proceso mental; las calles menores representan los pensamientos secundarios, y así, sucesivamente. Las imágenes o formas especiales pueden representar monumentos o ideas especialmente importantes. Si quieres saber más sobre el tema puedes consultar:

<http://www.queesunmapamental.com/>

Puedes utilizar: Lucidchart, Venngage o Canva.

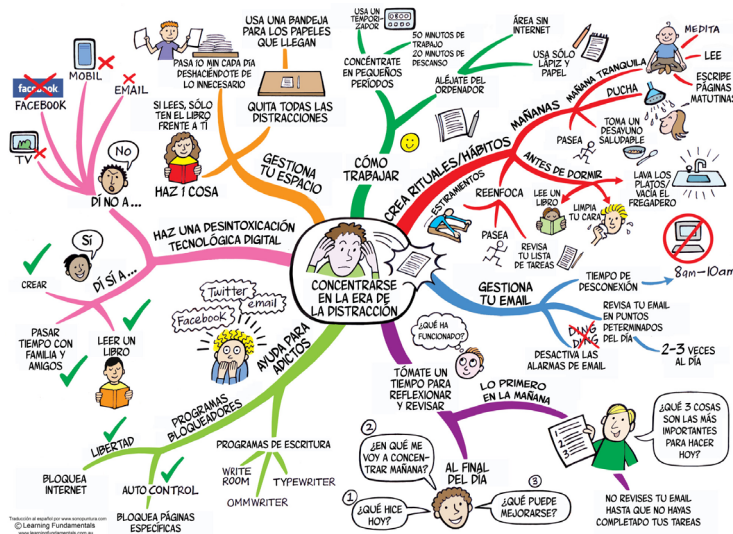


Imagen 39. Ejemplo de un mapa mental, con todos sus elementos. Disponible en <https://cutt.ly/eQivEek>

Para su elaboración considera los siguientes puntos:

- 1) El mapa mental debe mostrar tu posición personal en torno al tema discutido.
- 2) El centro o núcleo del mapa mental debe ser el fracturing o fracturación hidráulica. Las primeras ramificaciones serán los cuatro ejes temáticos que se discutieron en torno al tema en el debate realizado en clase. Las ideas, conceptos o frases posteriores serán de elaboración propia.
- 3) El mapa debe estar acompañado de imágenes que guarden relación con el tema central.

Lista de cotejo. El mapa mental

Nombre: _____ Grupo: _____ Fecha: _____ Coevalúa: _____

Instrucciones: Intercambien, lean y coevalúen el mapa mental empleando esta lista de cotejo.

Categoría	Número	Criterio	Cumple		Observaciones
			Sí	No	
Estructura, contenido y estilo	1	El núcleo o tema central (fracturación hidráulica o fracking) se visibiliza en una imagen acompañada del título.			
	2	La imagen central irradia cuatro ramificaciones, con los temas abordados en el debate.			
	3	Las ramas se acompañan de conceptos clave e imágenes alusivas al tema central.			
	4	Las ramificaciones de menos importancia están claramente diferenciadas y se derivan de las ramas principales.			
	5	El uso de imágenes, líneas y colores permite una visualización clara y precisa de la información.			
	6	Hay una relación clara y precisa entre las imágenes y el texto.			
	7	Las imágenes hacen referencia al tema abordado.			
	8	Muestra cohesión y coherencia.			
	9	Hay claridad y sencillez en la presentación del mapa.			
	10	Hay menos de 5 errores de ortografía.			

Referencias consultadas

- Alegría, M. (2005). *Cómo leer la ciencia para todos (Géneros discursivos)*. México: SEP-FCE-Conacyt.
- Alianza Mexicana contra el fracking. (2016). “Pronunciamiento por la aprobación de nuevos pozos de Fracking”. Disponible en: <https://www.nofrackingmexico.org/pronunciamiento-por-la-aprobacion-de-nuevos-pozos-de-fracking/>
- Arellano, O. (2015). ¿México está preparado para la fracturación hidráulica? *Oikos*, núm. 15, pp.16-20. Instituto de Ecología-UNAM. Disponible en: <http://web.ecologia.unam.mx/oikos3.0/index.php/todos-los-numeros/articulos-antiores/164-mexico-y-la-fracturacion-hidraulica>
- Campos Arenas, A. (2005). *Mapas conceptuales, mapas mentales y otras formas de representación del conocimiento*. Bogotá: Cooperativa editorial Magisterio.
- Estrada, J. (2013). *Desarrollo del gas lutita (shale gas) y su impacto en el mercado energético de México: reflexiones para Centroamérica*. Sede Subregional en México/CEPAL. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/27184-desarrollo-gas-lutita-shale-gas-su-impacto-mercado-energetico-reflexiones>
- Flores de Lombardini, T., y Ramírez, A. (2010). *Química orgánica*. Ciudad de México: Esfinge.
- Gobierno de la República-Comisión Nacional de Hidrocarburos. (2016). *Atlas geológico recursos no convencionales (lutita gas/aceite)*. Disponible en: https://hidrocarburos.gob.mx/media/3095/atlas_geologico_no_convencionales_v3.pdf

- González, A. U. y Marcellesi, F. (2012). Fracking: una fractura que pasará factura en *Ecología Política*, (43). 23-36.
- Guerrero Mothelet, Verónica, “Fracking, beneficios fugaces... ¿daños permanentes?”, publicado en *¿Cómo ves?*, Año 17, Núm. 198, pp. 10-14, UNAM, Cd. de México 2015.
- Gordillo, M. y Osorio, C. (2003). Educar para participar en ciencia y tecnología. Un proyecto para la difusión de la cultura científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, (32), 165-210.
- Meinguer, J. (2018). El valor del pensamiento crítico en la educación científica. *Eutopía*, 11(29). 5-11. Disponible en: <http://revistas.unam.mx/index.php/eutopia/article/view/68494/60488>
- Molina, M. y Sarukhán, J. (2017). *Cambio climático*. Ciudad de México: FCE.
- Navarro, C. F., Montagut, P., González R., Carrillo, M., Nieto, E., Sansón, C. y Lira, S. (2005). *Enseñanza experimental en microescala en el bachillerato. Química I a IV*. Ciudad de México: CCH-UNAM.
- Paz, R. (2018, 11 de diciembre). El fracking contamina la atmósfera e inutiliza el agua. UNAM-global. Ciudad de México: UNAM. Disponible en: <https://unamglobal.unam.mx/el-fracking-contamina-la-atmosfera-e-inutiliza-el-agua/>
- Pioquinto, S., Martínez, M. C. y Juárez E. (2015). “Gas Shale: otro reto para México, AMICA”. Segundo Congreso

- Nacional AMICA 2015. *Semanrnat-AMICA-BUAP*. Disponible en: <http://www.amica.com.mx/issn/archivos/129.pdf>
- Rangel, M. (1997). *El debate y la argumentación. Teoría, técnicas y estrategias*. Ciudad de México: Trillas.
- Sener. (2018). *Balance nacional de energía*. Ciudad de México: Dirección General de Planeación e Información Energética. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/414843/Balance_Nacional_de_Energ_a_2017.pdf
- Tolentino, M. (2017). Obtención de metano y acetileno y estudio de algunas de sus propiedades. *Vida Científica. Boletín Científico-uaeh*, núm. 9. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa4/n9/index.html>
- Wade, L. G. (2012). *Química orgánica*. Vol. 1. Ciudad de México: Pearson Educación.

Lectura 5:

Los biocombustibles

QUÍMICA IV

UNIDAD 2. EL ESTUDIO DE LOS POLÍMEROS Y SU IMPACTO EN LA ACTUALIDAD

Estrategia V. ¿Son viables los biocombustibles?

Presentación

En la quinta y última estrategia de lectura crítica se analiza el tema de los biocombustibles. Se decidió situar su revisión en la segunda unidad del curso de Química IV debido a que este tipo de sustancias son elaboradas con biomasa, esto es, con materia orgánica basada en polímeros naturales como los carbohidratos, lípidos y proteínas. El estudio de los polímeros naturales y sintéticos es el eje temático que da sentido al espacio curricular antes mencionado. Los aprendizajes que se buscan cubrir del programa actualizado de la asignatura son:

El alumno:

- A1. Reconoce la importancia de los polímeros en la vida cotidiana, al reflexionar sobre el origen natural y sintético de estos materiales y sus aplicaciones (CCH, 2016, p. 43).
- A8. Reconoce la importancia de las uniones covalentes en los polímeros en general y los enlaces peptídico y glucosídico al analizar fragmentos de cadenas poliméricas en proteínas y carbohidratos (CCH, 2016, p. 45).

Esta estrategia en particular, dista un poco del tratamiento convencional que se le suele dar a este tema tanto en la ENCCH como en el bachillerato universitario en general, donde la atención se centra en contenidos relacionados con los polímeros sintéticos. Se determinó situar el abordaje de los biocombustibles en esta unidad con el propósito de resaltar el estudio de aspectos relacionados con los polímeros naturales. Se pretende enfatizar el papel que juegan los carbohidratos en la obtención de biocombustibles de segunda generación y como pueden contribuir a diversificar las fuentes de energía. Un aspecto presente en el paradigma de desarrollo sostenible.

Fomentar el aprendizajes de contenidos químicos que contribuyan al cuidado del medio ambiente, es uno de los propósitos de la asignatura de Química IV al Perfil del Egresado de la ENCCH (CCH, 2016, p.10) y uno de los objetivos generales, presentes en el plan de estudios vigente de esta asignatura (CCH, 2016, p.13). Específicamente, abordar el tema de los biocombustibles permite que los estudiantes apliquen

nociones provenientes del tema de los polímeros naturales en contextos diferentes y que resultan de interés en el mundo contemporáneo; cuestión que favorece la construcción de aprendizajes significativos y la libertad de pensamiento. Todos ellos, aspectos que se recomienda promover en el documento “Orientación y sentido del área de Ciencias Experimentales” de la institución (CCH, 2006, p.42).

Sinopsis

En “Los biocombustibles”, las autoras abordan una ruta de investigación que se ha consolidado en las últimas décadas para disminuir el uso de los combustibles fósiles. Los biocombustibles se perfilan como una fuente de energía alternativa, pues se elaboran a partir de sustancias químicas provenientes de plantas y animales, desechos de la industria agrícola, alimentaria y la actividad forestal. El análisis que se plantea en este artículo permite reflexionar sobre las razones que detractores y defensores ofrecen sobre su desarrollo y uso.



Imagen 40. Los biocombustibles de segunda generación suelen tener como materia prima la biomasa, una mezcla natural compuesta por polímeros naturales. Disponible en: <https://cutt.ly/ym4ng1H>

Ficha de referencia

Espinosa de Aquino, Wendy, Mónica Goddard Juárez, Claudia Gutiérrez Arellano y Consuelo Bonfil Sanders, “Biocombustibles, el debate actual”, publicado en *¿Cómo ves?*, Año 11, Núm. 123, pp. 10-14, UNAM, Cd. de México 2009.

Los biocom



Combustibles

Wendy Espinosa de Aquino, Mónica Gabriela Goddard Juárez,
Claudia Gutiérrez Arellano y Consuelo Bonfil Sanders

Aunque se les ha considerado una alternativa para enfrentar el cambio climático, pueden ocasionar problemas más graves que los derivados de usar combustibles fósiles.

Los **BIOCOMBUSTIBLES** APARECEN con frecuencia en las noticias y en los discursos y planes de gobiernos de todo el mundo. ¿A qué se debe tanta popularidad? En numerosos foros, así como en los documentos de política energética de muchos países, se considera a los biocombustibles como una alternativa “verde” a los combustibles fósiles (como el petróleo y el carbón mineral) que contribuirá a disminuir la concentración de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera y con ello a frenar el calentamiento global. Pero, ¿realmente es así?

Los biocombustibles se elaboran con materiales producidos por los seres vivos; son alcoholes, éteres, ésteres y otros compuestos químicos generados a partir de los

tejidos de plantas y animales, los residuos de la agricultura y de la actividad forestal, y algunos desechos industriales, por ejemplo los de la industria de la alimentación.

Todos los países tienen la capacidad de producir biomasa vegetal o animal y, por lo tanto, biocombustibles. Éstos pueden brindar cierta independencia en la producción de energía, lo que no ocurre con el petróleo, que no se encuentra en todos los países. Los biocombustibles son, además, una fuente de energía renovable, ya que proviene esencialmente de la fotosíntesis, proceso por el cual las plantas reducen y fijan el CO_2 , transformándolo en carbohidratos, como azúcares y almidones.

Los dos biocombustibles más usados en el mundo son el etanol y el biodiesel. Se

utilizan principalmente en los motores de vehículos como automóviles y camiones. El etanol (que es un alcohol) generalmente se produce utilizando como materia prima la caña de azúcar, los cereales y el betabel (también llamado remolacha de azúcar). El biodiesel, que puede usarse en lugar del diesel convencional, se produce a partir de aceites vegetales o animales. Las especies más usadas para obtener biodiesel son la palma aceitera y la soya. El etanol representa cerca del 90% de la producción total de biocombustibles y el biodiesel el resto.

En principio, cambiar las fuentes de energía actuales por otras renovables traería numerosos beneficios económicos y sociales. La escasez y el aumento de



los precios de los combustibles fósiles, el reto del cambio climático y las oportunidades de desarrollo para el Tercer Mundo —por los ingresos económicos derivados de cultivar materias primas y producir biocombustibles— son factores que han contribuido a que se considere a éstos como una opción viable. La producción a gran escala de biocombustibles ofrece seguridad energética, especialmente para los países que carecen de petróleo. Pero incluso algunos países que cuentan con yacimientos petroleros, pero además tienen amplias superficies cultivables, como Brasil, también producen biocombustibles.

¿Un mejor ambiente?

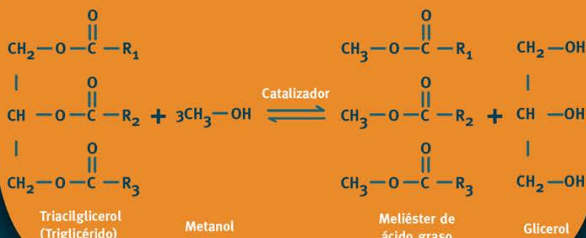
Uno de los argumentos que se ofrecen para promover los biocombustibles es que su impacto ambiental sería menor que el de los combustibles fósiles. En un estudio realizado por Jörn Scharlemann y William Laurence, del Instituto Smithsoniano de Investigaciones Tropicales, se midió la influencia de los biocombustibles en las emisiones de CO_2 . Los autores del estudio concluyen que 80% de los biocombustibles reducen las emisiones de CO_2 en un 30%. El etanol reduciría las emisiones en 13% y el biodiesel en 79%, comparados con el diesel petroero.

Además, según este estudio, se producen menos partículas suspendidas y hollín, que son nocivos para el sistema respiratorio. Scharlemann y Laurence señalan también que la relación entre la energía invertida y la obtenida (balance energético) del biodiesel es

El biodiesel se produce a partir de aceites orgánicos, al convertir los triglicéridos (moléculas de grasa) de estos aceites en compuestos denominados ésteres. En este proceso químico, que se conoce como transesterificación, las tres cadenas ésteres de cada molécula de triglicérido reaccionan con un alcohol (metanol), y los productos finales son glicerina y un metiléster de ácido graso, que es el combustible. Las moléculas de

BIODIESEL

oxígeno que retiene el biodiesel le otorgan propiedades favorables para la combustión. Estas cadenas no contienen azufre, que es considerado un contaminante ambiental potente. Por otro lado, la glicerina, luego de su purificación, puede ser utilizada como insumo para las industrias farmacéutica y cosmética. Este proceso requiere de altas temperaturas y un catalizador para que se complete la reacción.



positiva; por cada unidad de energía fósil invertida en producirlo el biodiesel da 3.2 unidades de energía. En el etanol obtenido a partir de la fermentación del azúcar, el rendimiento energético es de 1.98 unidades; es decir, se obtiene casi el doble de la energía invertida.

Sin embargo, otros autores no dan cuentas tan alegres; ellos afirman que los cultivos de los que se extraen biocombustibles presentan balances energéticos negativos: para producirlos se necesita invertir más energía de la que se obtiene. Por ejemplo, se ha calculado que, en el caso del etanol de maíz, por cada unidad de energía fósil gastada en su producción se

recuperan 0.78 unidades; y que en el peor de los casos (el del biodiesel producido a partir de la soja) se recuperan 0.53 unidades, ¡la mitad de lo invertido!

Y si se contabiliza la deforestación, el costo ambiental total de los biocombustibles puede resultar mayor que el de usar combustibles fósiles. Producir biocombustibles requiere superficies muy extensas para cultivar maíz, caña de azúcar, soja o palma de aceite. Convertir ecosistemas en superficies de cultivo contribuiría a aumentar el calentamiento global. Los bosques y muchos otros ecosistemas naturales se consideran “sumideros de carbono” porque los tejidos vegetales fijan el dióxido de carbono por medio de la fotosíntesis. Con la deforestación, estos sumideros o depósitos se perderían y se afectaría la biodiversidad. Hasta la fecha se observa que los cultivos de palma aceitera y soja que se emplean para producir biodiesel ya han hecho desaparecer selvas tropicales, pantanos y pastizales en Indonesia, así como importantes extensiones de la selva amazónica, ecosistemas que almacenan una gran cantidad de carbono. Al convertirlos en tierras de cultivo se libera a la

atmósfera casi 420 veces más CO_2 del que se ahorró al usar los biocombustibles.

Estos cálculos permiten concluir que los balances energéticos del biodiesel y del bioetanol dependen en gran medida de la materia prima que se elija, la eficiencia tecnológica, el proceso utilizado y el lugar donde se producen los cultivos; es decir, si se usan campos ya abiertos al cultivo o se eliminan ecosistemas naturales para establecerlos. En nuestro país se ha comenzado a fomentar el cultivo de la palma aceitera, el pino piñonero y diversas especies del género *Jatropha* como materias primas de biocombustibles, aunque todavía se debate la conveniencia de producir biocombustibles. Rafael Elvira Quesada, secretario del Medio Ambiente y Recursos Naturales, ha opinado que el etanol producido a partir del maíz no es una buena opción para México.

Incluso si se toman en cuenta sólo los combustibles fósiles empleados durante el proceso de cultivo, el balance de CO_2 es negativo, ya que se genera más dióxido de carbono del que absorben las plantas durante su crecimiento. Además, en las fábricas de destilación y fermentación de etanol se utilizan combustibles fósiles, y también para cosechar y transportar las

cosechas hasta la planta industrial. En 2006 Tad Patzek, de la Universidad de California en Berkeley, calculó las emisiones de otros gases de efecto invernadero (como óxidos de nitrógeno, metano, etc.) que se generan durante el proceso de cultivo y fabricación de biocombustibles, y lo que éstas equivalen en toneladas de CO_2 . El resultado fue que, por cada hectárea de maíz dedicada a la producción industrial de etanol en Estados Unidos, se liberan a la atmósfera tres toneladas de CO_2 , lo que no puede considerarse una ventaja ambiental desde ningún punto de vista.

Por si fuera poco, la combustión del etanol produce como desecho formaldehído y acetaldehído, sustancias cancerígenas. También se cree que su uso podría elevar las emisiones de óxido nítrico y otros compuestos orgánicos gaseosos precursores del ozono.

La crisis alimentaria

Desde hace algunos años el mundo atraviesa una crisis alimentaria por el aumento de precios de alimentos básicos como el maíz, el arroz y el trigo. Entre las causas de esta crisis se encuentra la demanda de tierras y productos para la producción de biocombustibles. Según la Organización

Si se contabiliza la deforestación, el costo ambiental total de los biocombustibles puede resultar mayor que el de usar combustibles fósiles.

de las Naciones Unidas (ONU), la oferta alimentaria de granos se ha reducido y los precios de los alimentos han aumentado debido en parte a que países como Brasil y Estados Unidos usan grandes extensiones para cultivar la materia prima de los biocombustibles en lugar de alimentos. Este fenómeno afecta a los grupos humanos más vulnerables del planeta.

Según predicciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), si se utilizara etanol para producir el 10% de los combustibles empleados en el transporte en Estados Unidos, se requeriría que el 30% de la superficie agrícola de ese país se dedicara al cultivo de materias primas; un porcentaje que en el caso de la Unión Europea ascendería al 72% de la superficie arable; a nivel mundial esta cifra sería del 9%. Es probable que los países desarrollados promuevan cultivos para biocombustibles fuera de sus territorios para después comprarlos, y no enfrentar así las consecuencias ambientales ni sociales de su producción.

Finalmente, debe hacerse notar que el uso de biocombustibles está asociado con los intereses de grandes empresas que tienen una enorme oportunidad de crecer y enriquecerse con su producción y comercialización. La organización Grain —un organismo no gubernamental que promueve el uso sustentable de la diversidad agrícola—,

BIOETANOL

El bioetanol se produce (al igual que la cerveza) a partir de la fermentación por levaduras de los azúcares que se encuentran en los tejidos vegetales. Se obtiene de plantas con un alto contenido

de azúcares o celulosa, separando posteriormente, por destilación, los diferentes componentes líquidos de una mezcla de etanol y agua. El bioetanol puede mezclarse con la gasolina.



sostiene que estas empresas pretenden “reemplazar millones de hectáreas de sistemas agrícolas locales y a las comunidades rurales que trabajan en ellos, erradicando los sistemas indígenas de cultivo y pastoreo para sustituirlos con grandes plantaciones de monocultivo e ingeniería genética, en las que las empresas multinacionales tengan el control”.

La alternativa parece ser entonces no producir biocombustibles a partir de alimentos, sino con desechos de industrias como la forestal, la agrícola y la papelera. Estos biocombustibles, que se hacen con celulosa, madera de desecho o algas cultivadas, llamados de segunda generación, pueden ser una mejor opción porque no requieren grandes superficies de cultivo. Su uso permitiría además manejar los desechos de manera adecuada y no competir con la industria alimentaria. En México ya se desarrollan proyectos para producir biocombustibles a partir de desechos orgánicos, como cáscaras de frutas o aceite quemado.

También existen los biocombustibles de tercera y cuarta generaciones, que buscan aumentar la cantidad o calidad de la materia prima usando organismos genéticamente modificados (transgénicos).



ADIÓS AL PETRÓLEO

Actualmente, el 84% del consumo total mundial de energía primaria proviene de los combustibles fósiles, como el petróleo y el carbón mineral. El impacto ambiental causado por este uso, tan intensivo y prolongado, junto con la caída en las reservas de hidrocarburos, ha impulsado la búsqueda de tecnologías más eficientes, más limpias y que no dependan del petróleo.

Las reservas probadas de petróleo en el mundo se reducen. Además la extracción se complica en zonas productoras importantes por conflictos políticos.

Aunque a mediados de los años 60 se alcanzó un récord en el número de yacimientos petroleros descubiertos, poco después se produjo una caída que se ha acentuado con el tiempo. En el año 2000 se descubrieron pocos yacimientos y las estimaciones pronostican aún menos en el futuro próximo. Al mismo tiempo, la demanda crece. Para el periodo 2002-2025 se ha calculado un incremento en esa demanda de 57% entre 2002 y 2025. Estas circunstancias han fomentado las investigaciones encaminadas a aprovechar otras fuentes de energía.

Por ejemplo, la compañía estadounidense ArborGen desarrolla árboles con menor cantidad de lignina (compuesto resistente, que da el carácter leñoso) y mayor cantidad de celulosa, lo cual reduce los costos de pretratamiento y aumenta la producción de biocombustibles. Otras modificaciones genéticas buscan aumentar la capacidad de las plantas de captar CO₂. Aunque estas nuevas generaciones de biocombustibles podrían tener mejores rendimientos energéticos comparados con los de primera y segunda generaciones, los organismos genéticamente modificados con-

llevan amenazas ambientales que aún no han sido debidamente valoradas, además de que persiste el problema de utilizar tierras de cultivo de alimentos para sembrar la materia prima.

Las alternativas

Usar formas alternativas de producción de energía puede ser una opción más limpia y eficiente (véase “Un rayo de Sol, un soplo de viento”, ¿Cómo ves?, No.121). Una de estas fuentes es el viento. La energía eólica es renovable, gratuita y limpia. Tiene algunos inconvenientes, por ejemplo, que los molinos de viento alteran el paisaje con su tamaño y su número, pues tienen que ser cuantiosos para producir suficiente energía y pueden afectar a las poblaciones de aves migratorias. Sin embargo, los beneficios tecnológicos, sociales, y económicos asociados con su uso, además de la reducción de las emisiones de carbono, hacen de la energía

eólica una buena opción para sustituir a los combustibles fósiles.

Otra fuente de energía alternativa es la solar. Hay diversas tecnologías que permiten aprovecharla, en especial las celdas de semiconductores que se activan con la radiación solar (celdas fotoeléctricas) y producen electricidad. Al igual que la energía eólica, la solar es autónoma y descentralizada, pues proviene de una fuente gratuita e inagotable y puede obtenerse en prácticamente cualquier sitio, aunque es más eficiente en zonas calurosas con baja nubosidad, como los desiertos. En conjunto estas energías verdes y los biocombustibles pueden disminuir en gran medida nuestra dependencia de los combustibles fósiles.

Los biocombustibles podrían ser una buena alternativa si se lograra producirlos sin emplear combustibles fósiles. Hasta ahora, debido a que se producen a partir de cultivos agrícolas, lejos de representar una alternativa sustentable, son una fuente de problemas ambientales, sociales, políticos y económicos más graves que los que resultan de usar combustibles fósiles. ➤

Agradecemos a la Dra. Fernanda Figueroa por su apoyo durante el desarrollo de la investigación y por sus valiosas sugerencias que mejoraron el manuscrito original.

Wendy Espinosa de Aquino, Mónica Gabriela Goddard Juárez y Claudia Gutiérrez Arellano son alumnas de la carrera de biología en la Facultad de Ciencias de la UNAM, y elaboraron este artículo a partir de una investigación realizada para la materia “Recursos naturales”, la cual imparte la Dra. Consuelo Bonfil, quien es profesora de tiempo completo en el Departamento de Ecología y Recursos Naturales de la misma facultad. Su principal área de investigación es la restauración ecológica.



Actividades de aprendizaje

Estrategia V. ¿Son viables los biocombustibles?

I. Activación de conocimientos previos

Para explorar tus conocimientos previos sobre el tema que se abordará en este proceso de lectura crítica, efectúa las siguientes actividades.

1. Completa los siguientes apartados de forma individual.

Los biocombustibles son...
Los beneficios que ofrece su uso son...
Los tipos de biocombustibles que conozco o he oído nombrar son...
Las desventajas que he escuchado o leído sobre los biocombustibles son...

2. Revisa el título, los subtítulos, los recuadros e imágenes presentes en la publicación y contesta con tus propias palabras la siguiente pregunta: ¿Cuál es la temática central que se expone en este artículo?
3. Efectúa una **lectura exploratoria** de forma indivi-

dual del texto. Como una primera aproximación, ¿cuál consideras que es la relación de este material de lectura con el estudio de la química?

4. Después de la lectura, identifica las palabras, conceptos o frases que no entiendas; anótalas en el cuadro siguiente.

Exploración de palabras y frases que generan dudas en el texto	
Palabras o conceptos	Enunciado o frase en las que se encuentra inserta la palabra o el concepto

II. Análisis de contenidos

En esta sección, los alumnos analizarán los contenidos más relevantes presentes en el material de lectura seleccionado con la guía del docente¹.

Seguramente, la lectura del texto te permitió realizar algunos **supuestos** en torno a los biocombustibles. Para dar

¹ Para las actividades de esta sección, se recomienda el trabajo cooperativo y colaborativo en pequeños grupos. Con ello, se fomenta el diálogo, la interacción, la construcción de acuerdos y la responsabilidad en el trabajo escolar.

seguimiento a lo anterior, contesten en equipos las siguientes preguntas:

5. Desde su propia perspectiva, ¿cuál es la importancia de la temática abordada en el texto divulgativo?
6. Expliquen dos aspectos que comprendan o dominen con seguridad, que se mencionan en el artículo.

Sobre los biocombustibles, algo que sé con seguridad es lo siguiente:
A.
B.

Otro aspecto que se devela esencial en todo proceso de análisis textual es detectar el **problema** o **idea central** presente en un material de lectura. Para llevar a cabo esta labor con este texto realicen lo siguiente.

7. Lean nuevamente y con mayor detenimiento el artículo “Los biocombustibles” e identifiquen la idea central de cada apartado o subtítulo. Recopilen su información en la siguiente tabla.

Los biocombustibles	Subtítulos	Ideas centrales
	Introducción	
	¿Un mejor ambiente?	
	La crisis alimentaria	
	Las alternativas	
	Biodisel (recuadro)	
	Bioetanol (recuadro)	
	Adiós al petróleo (recuadro)	

8. Después de leer el artículo, ¿cuál consideran que es la idea central de este texto? En otras palabras, ¿cuál es el tema principal del que se habla? Guía tu respuesta redactándola con tus propias palabras. Puedes empezar así:

El artículo "Los biocombustibles" habla/expone/evidencia/presenta...

Todo artículo científico o divulgativo apela a la objetividad, claridad y veracidad de la información en la que está sustentado. Las siguientes actividades tienen como propósito identificar los datos, evidencias y otros respaldos que utiliza el autor al presentar diferentes aspectos sobre la temática expuesta.

9. En la siguiente tabla enlisten **información relevante** (datos químicos, estadísticas, opiniones de expertos y otras evidencias) que utilizan las autoras al presentar diferentes aspectos sobre los biocombustibles.

Datos y estadísticas en torno a la obtención y usos de biocombustibles	Información química (sustancias implicadas en la elaboración de los biocombustibles)	Opiniones de expertos sobre el tema

10. A partir del análisis del artículo, ¿consideran que existe coherencia entre el contenido, los subtítulos, las imágenes, los recuadros y la forma de presentar la información en el texto? Justifiquen su respuesta.

La formulación de **inferencias** es otra habilidad básica asociada con la comprensión lectora y el pensamiento crítico. Una forma de dar seguimiento a este tipo de constructos cognitivos es mediante el reconocimiento del posicionamiento del autor respecto al tema abordado en un texto, la construcción de argumentos, conclusiones y la formulación de cuestionamientos. Las siguientes actividades tienen como finalidad incentivar la formulación de inferencias sobre el texto trabajado en clase.

11. A partir de lo leído, ¿cuál es el posicionamiento de las autoras sobre el tema? Descríbelo brevemente con tus propias palabras. Toma como guía en tu redacción lo siguiente:

Considero que la posición que las autoras del artículo "Los biocombustibles" es... lo anterior lo sustento en...

--

12. En la siguiente tabla redacta un argumento a favor y otro en contra, ya sea sobre la manera de presentar la información o sobre algunas afirmaciones que llamaron tu atención en el texto divulgativo. Es importante que los argumentos sean objetivos, veraces, además de

estar redactados en forma clara y coherente. Te puedes auxiliar del siguiente recuadro.

Argumento a favor del texto divulgativo	Argumento en contra del texto divulgativo
Considero que el texto revisado en clase es pertinente/loable/novedoso/interesante/importante... porque...	Considero que el texto revisado en clase es cuestionable/ambiguo/incompleto/controversial/poco relevante... porque...

Otro aspecto clave en todo proceso de análisis textual es identificar el **propósito** que busca cumplir un texto, es decir, el motivo por el cual las autoras decidieron escribirlo y difundirlo por medio de una editorial específica. Considerando lo anterior, redacten un breve párrafo guiándose por las siguientes preguntas:

13. ¿Qué razones tuvieron las autoras para escribir el artículo “Los biocombustibles”? ¿Cuál es la intención o propósito que busca generar en el público lector? Pueden iniciar su redacción de la siguiente manera:

El propósito de este artículo de divulgación científica es... Lo anterior se basa en la siguiente información...

III. Problematicación del texto divulgativo

En esta sección, se abordarán aspectos conceptuales y contextuales que guardan relación con la temática estudiada en el material de lectura. Esto con el propósito de reafirmar su comprensión y proporcionar elementos que coadyuven a la adquisición de una posición informada².

3.1 Problematicación conceptual

Actividad experimental: Obtención de bioetanol a partir de la fermentación de residuos de naranja

Objetivos

- Los alumnos sintetizarán bioetanol en el laboratorio escolar, a partir de la fermentación del jugo obtenido de residuos o desperdicios de naranja.
- Los estudiantes reconocerán la importancia que poseen los carbohidratos en la obtención de biocombustibles de segunda generación, como el bioetanol.
- Los alumnos indagarán sobre los usos y aplicaciones del bioetanol y la importancia de procesos alternativos en la obtención de biocombustibles.

² Se recomienda implementar las actividades de esta sección en un esquema didáctico basado en el trabajo colaborativo y cooperativo. En la actividad experimental, se sugiere solicitar previamente a los estudiantes un diagrama de flujo sobre las reacciones que habrán de efectuarse en el laboratorio.

Introducción

La producción de biocombustibles contribuye a disminuir el consumo de combustibles fósiles y a diversificar los productos energéticos de los que hace uso la humanidad. Los biocombustibles se producen a partir de biomasa, esto es, de residuos orgánicos. Fuentes de biomasa son los desechos de recursos forestales (hojas de árboles, frutos y madera), excremento de animales y restos de productos químicos provenientes de la industria de los alimentos.

La biomasa está constituida, principalmente, por los siguientes elementos: carbono (50%), oxígeno (43%), hidrógeno (6%) y otros elementos en proporciones minoritarias, como nitrógeno y azufre. Estos elementos forman parte de polímeros naturales como la celulosa, hemicelulosa, lignina, almidón, proteínas, etcétera. La biomasa se puede clasificar, en función del tipo de residuos que la origina, en cuatro grandes grupos: biomasa natural, biomasa residual, biomasa húmeda y biomasa seca (imagen 41).

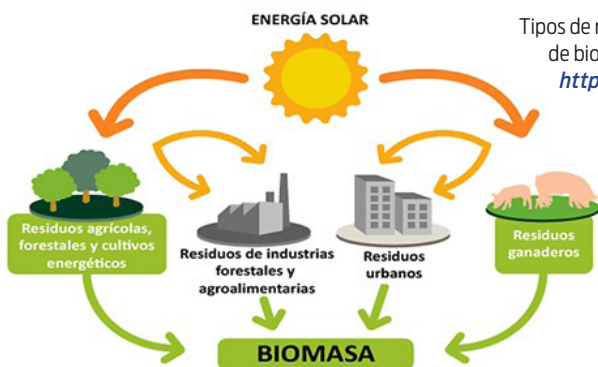


Imagen 41.
Tipos de residuos generadores
de biomasa. Disponible en:
<https://cutt.ly/1m4IAoF>

El petróleo y sus derivados son la base para la obtención de diversos productos, entre los que se encuentran los combustibles fósiles como el combustóleo, la gasolina y el queroseno; todos ellos recursos básicos para la industria y el transporte. Sin embargo, el petróleo es un recurso no renovable y una importante fuente de contaminación ambiental, por lo que se deben encontrar nuevos recursos energéticos para sustituir el consumo de sus derivados o disminuirlo.

El uso de biocombustibles se ha convertido en las últimas décadas, en una ruta alternativa en la producción de energía. Formalmente se denomina biocombustibles a los productos energéticos que se obtienen mediante procesos fisicoquímicos, cuya materia prima es la biomasa (Callejas y Quezada, 2009). Tradicionalmente, se asume que los biocombustibles son líquidos como el biodisel o el bioetanol, pero esto constituye un error. En realidad, se consumen en mayor cantidad biocombustibles sólidos utilizados en procesos de combustión, como el carbón vegetal y la leña. También, existen biocombustibles en estado gaseoso, como el biogás, que se puede obtener de una diversidad de residuos de naturaleza orgánica.

En esta actividad experimental se obtendrá bioetanol en el laboratorio escolar. El bioetanol posee las mismas características físicas y composición química que el etanol, ya que se trata del mismo compuesto orgánico ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$). La diferencia estriba en su proceso de producción: el bioetanol se obtiene a partir de biomasa (residuos orgánicos ricos en carbohidratos), mientras que el etanol tradicional es, en gran medida, un producto secundario de la industria petroquímica.

Desde hace algunos años, el bioetanol se ha proyectado como una alternativa de las gasolinas porque su producción es más barata y emite menos contaminantes. En la siguiente tabla se muestran algunas características del bioetanol y de una gasolina típica. Se observa que el bioetanol tiene mayor octanaje, lo cual permite que los motores obtengan, bajo determinadas condiciones, un mejor desempeño.

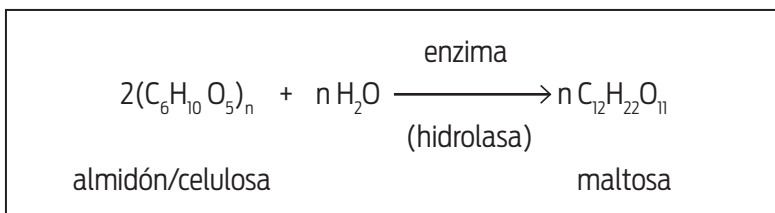
Propiedades de la gasolina y bioetanol (Carvalho, 2008)

Parámetro	Gasolina	Bioetanol
Densidad	0.72-0.78 kg/litro	0.792 kg/litro
Octanaje RON (<i>Research Octane Number</i>)	90-100	102-130
Octanaje MON (<i>Motor Octane Number</i>)	80-92	89-96
Calor latente de vaporización	330-400 kJ/kg	842-930 kJ/kg
Temperatura de ignición	220 °C	420 °C
Solubilidad en agua	0 %	100%

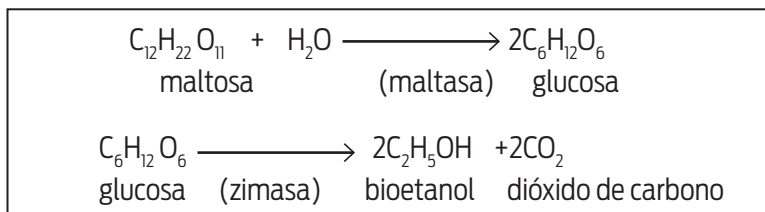
El bioetanol se puede obtener mediante procesos biotecnológicos (empleo de microorganismos como levaduras) y a partir de frutas o cereales ricos en carbohidratos. Los vegetales poseen una elevada porción de celulosa, un polisacárido que

dota de rigidez a las plantas, muchos de los cuales también poseen una concentración significativa de otro polímero natural importante en los procesos metabólicos: el almidón, compuesto conformado por unidades de glucosa de forma ramificada, que sirve como reserva de energía en el organismo.

La conversión de carbohidratos en bioetanol ocurre después de llevar a cabo una fermentación, mediante el uso de levaduras. Sin embargo, en la mayoría de los casos, es necesario llevar a cabo dos tratamientos previos: la delignificación y la hidrólisis. En el primer caso, se eliminan los materiales sólidos insolubles llamados ligninas. Estos compuestos polifenólicos, que recubren las paredes de las células vegetales, tienen la función de proteger a las células de la acción enzimática y de agentes externos. Razón por la cual es necesario retirarlos para que se produzca la fermentación. Por otra parte, la hidrólisis tiene como finalidad romper los enlaces glucosídicos mediante la acción del agua, lo que permite obtener unidades estructurales de polisacáridos más sencillas, que facilitan la obtención del bioetanol. La reacción de hidrólisis de carbohidratos se esquematiza a continuación:



Una vez obtenida una mezcla rica en azúcares, como la maltosa, se agregan microorganismos como la levadura, cuya función es producir dos enzimas: la maltasa y la zimasa. La primera convierte la maltosa en glucosa, y la segunda es la que transforma este monosacárido en bioetanol, obteniéndose como producto secundario al dióxido de carbono. Ambas reacciones químicas se esquematizan a continuación:



Una vez obtenida la mezcla rica en etanol, se procede a su purificación, mediante la destilación y la deshidratación. En esta actividad experimental se obtendrá bioetanol a partir de la fermentación del jugo obtenido de residuos de naranja (una fruta rica en carbohidratos) y se indagará sobre sus posibles aplicaciones.

Materiales y sustancias

Materiales	Sustancias
1 matraz Erlenmeyer de 500mL	300mL de jugo de naranja (obtenido de residuos recuperados de esta fruta)
1 parrilla de calentamiento	Levadura comercial

2 vasos de precipitados de 250mL	Piloncillo
2 vasos de precipitados de 100mL	H ₂ O
1 probeta de 50mL	Perlas de ebullición
1 espátula	
1 agitador de vidrio	
1 barra magnética	
1 tapón monohoradado	
3 trozos de manguera de látex	
1 tubo de desprendimiento	
1 kit de destilación completo	
1 canasta de calentamiento	
1 balanza digital	
1 termómetro de 0-400°C	
2 soportes universales	
3 pinzas de tres dedos	

Procedimiento

- Obtén 350mL de jugo de naranja de residuos de esta fruta recuperados de restaurantes, comercios o del consumo de esta fruta en casa.
- Coloca 300mL de jugo de naranja dentro del matraz Erlenmeyer de 500mL.
- En un vaso de precipitados calienta 150mL de agua y disuelve una cucharada de levadura.
- Pesa 50 gramos de piloncillo molido.

- v. Agrega al matraz Erlenmeyer el piloncillo y finalmente la disolución de levadura.
- vi. Agita la mezcla de reacción con ayuda de una barra magnética, durante 15 minutos.

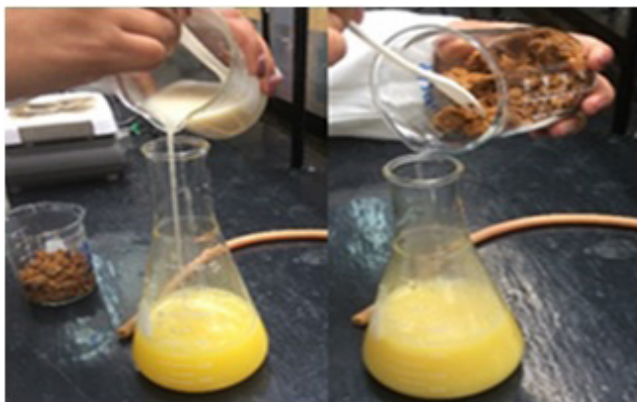


Imagen 42. Preparación de la mezcla de reacción.

- vii. Adapta un tubo de desprendimiento al tapón monohoradado. Conecta un trozo de manguera de látex al tubo; sumerge el extremo libre de la manguera en un vaso de precipitados con 150mL de agua.
- viii. Tapa herméticamente el matraz Erlenmeyer (mezcla de reacción) con el tapón monohoradado que va unido al tubo de desprendimiento (imagen 43). Revisa que no existan fugas en el dispositivo.
- ix. Después de 10 ó 15 minutos observa el vaso con agua y el matraz Erlenmeyer (debe observarse un ligero burbujeo).



Imagen 43. Proceso de fermentación.

- x. Monitorea la reacción por tres días (el burbujeo debe hacerse más continuo conforme pasa el tiempo).
- xi. Lleva a cabo la destilación del etanol. Para ello arma el dispositivo que se muestra en la figura 44, utilizando el kit de destilación y el material proporcionado.
- xii. Una vez montado el equipo, coloca la mezcla de reacción

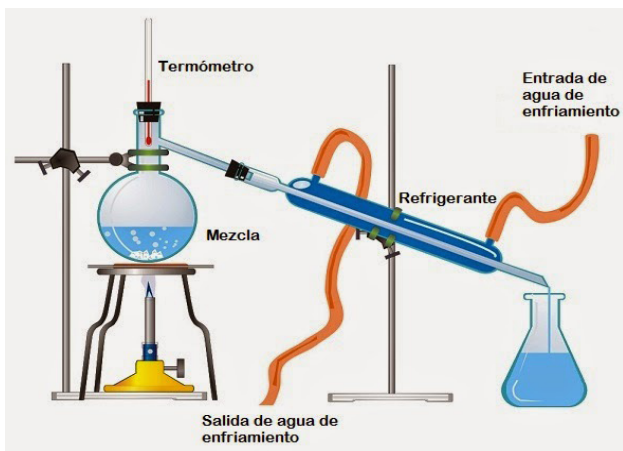


Imagen 44. Dispositivo para llevar a cabo la destilación.

Disponible en: <https://cutt.ly/2m76yz5>

- en el matraz de destilación (un matraz de bola) y agrega algunas perlas de ebullición. Tapa herméticamente el matraz, revisa que no haya fugas en el dispositivo, abre el flujo de agua y comienza a calentar moderadamente.
- xiii. El etanol tiene un punto de ebullición de **78.3 °C**. Empieza a calentar y anota la temperatura en la cual empiezan a caer las primeras gotas de destilado. Recibe este líquido hasta que la temperatura llegue a ser constante (esto será la fracción 1 o cabeza de destilación).
- xiv. Cambia de matraz para recibir el segundo destilado. Ahora, mantén una temperatura en el intervalo de 72-80°C por un periodo de tiempo de 10 minutos. El líquido colectado en esta segunda fracción corresponde al bioetanol.
- xv. Por último, cambia de matraz para recibir residuos por arriba de esta temperatura (fracción 3 o cola de destilación).



Imagen 45. Proceso de destilación y aspecto del bioetanol obtenido en el laboratorio.

- xvi. Mide la cantidad de bioetanol que obtuviste durante el proceso de destilación en la probeta de 50mL.
- xvii. Para corroborar que obtuviste bioetanol, coloca unos mililitros de este líquido destilado en un vidrio de reloj y observa su flamabilidad al acercar un cerillo encendido o la flama de un encendedor casero.
- xviii. Registra tus observaciones en la tabla de resultados.

Resultados

Anota tus observaciones en la siguiente tabla:

Etapas	Observaciones (volumen, color, olor, aspecto, etcétera)
Mezcla de reacción	
Proceso de fermentación	
Destilación	

Manejo de residuos

- Investiga previamente las propiedades físicas y las toxicidades de las sustancias empleadas.
- Todas las sustancias utilizadas en esta actividad experimental no son tóxicas, por lo que pueden ser desechadas en la tarja. No obstante, mantente atento a las indicaciones de tu profesor(a) sobre el desecho de residuos.

Análisis de resultados

A partir de lo observado en la actividad experimental resuelve el siguiente cuestionario, el cual te permitirá reforzar aprendizajes conceptuales sobre la obtención del bioetanol y sus aplicaciones.

14. Investiga algunas propiedades químicas de los carbohidratos, como grupos funcionales presentes en su estructura, sus unidades monoméricas y esquematiza el enlace glucosídico.
15. ¿Cuál es la importancia de los carbohidratos en la obtención de biocombustibles como el bioetanol?
16. ¿Qué polímeros naturales presentes en la naranja, proveen los carbohidratos necesarios para la producción de bioetanol por fermentación?
17. ¿Qué otras frutas o alimentos ricos en carbohidratos, pueden ser utilizados en la producción de biocombustibles?
18. ¿Qué variables se deben controlar en el proceso experimental para la obtención del bioetanol? Justifica tu respuesta.
19. ¿Qué papel juega la levadura y el piloncillo en el proceso de fermentación?
20. ¿A qué se debe el burbujeo en el vaso con agua en el que se sumergió la manguera conectada al tubo de desprendimiento durante el proceso de fermentación? ¿Por qué este burbujeo se incrementa con el paso del tiempo?

21. Investiga al menos dos usos que se le podría dar al bioetanol que se obtiene a partir de residuos de frutas ricas en carbohidratos.

3.2 Problematicación contextual

En esta sección, los alumnos indagarán sobre algunas implicaciones tecnológicas, sociales y ambientales en torno al uso de los biocombustibles. Para ello, realizarán una breve investigación documental sobre aspectos benéficos, negativos y controversiales en torno al tema.

Los biocombustibles en México

A nivel nacional, la producción y utilización de los biocombustibles se proyectó como parte de un plan de desarrollo que contemplaba la diversificación energética y la lucha contra el cambio climático. Se esperaba que este sector reeditara en impulsar el desarrollo rural y el aprovechamiento de tierras de cultivo abandonadas. Como resultado de lo anterior, en 2007 surgió la Ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos. Esta ley constituye un marco regulatorio en la producción, almacenamiento, transporte y comercialización de los biocombustibles en México (Álvarez y Lina, 2014).

En este contexto, hace aproximadamente una década, la Secretaría de Energía (Sener) se propuso producir bioetanol

usando como materia prima maíz y caña de azúcar, el cual sería utilizado como un oxigenante o aditivo que contribuiría a reducir el efecto ambiental de las gasolinas. En este plan, también destacaba la producción de biodiesel a partir de aceite de palma, como una ruta alternativa para aminorar el consumo de combustibles provenientes del petróleo. Con el transitar de los años, estos objetivos no fueron cumplidos debido a diversos factores; actualmente el panorama sobre los biocombustibles es incierto.

Entre las principales causas que han impedido la consolidación de una industria basada en los biocombustibles en México, se puede mencionar la prohibición del uso del maíz para la producción de bioetanol (el desabasto de este producto puede poner en riesgo la seguridad alimentaria del país), la escasez de tierras de cultivo que aseguren una producción significativa de biocombustibles, el uso excesivo de agua para riego, la falta de una infraestructura tecnológica básica en la producción de biocombustibles, así como aspectos relacionados con el impacto ambiental en su producción, como deforestación, erosión del suelo y alta huella de carbono asociada a estos bioenergéticos. También es importante mencionar la falta de pruebas sobre la eficiencia de la mezcla gasolina-bioetanol por parte de Pemex, para determinar sus especificaciones y comercialización.

ETANOL EN GASOLINAS (MILLONES DE LITROS)					
Zona metropolitana	2012	2013	2015	2020	2025
Valle de México	493	478	495	513	520
Guadalajara	184	190	207	259	298
Monterrey	135	116	124	142	148
Total	812	785	826	915	967

Imagen 46. Pronósticos de petrolíferos en México 2010-2025
(Álvarez y Lina, 2014)

El panorama en torno al biodiesel es muy similar al del bioetanol. Sin embargo, vale destacar que estados como Chiapas, Veracruz, Tabasco y Campeche destacan por su alta producción de aceite de palma, materia prima utilizada para su producción. La experiencia mexicana en la producción de biocombustibles de primera generación ha resultado, como en otros países, inviable. No obstante, se siguen investigando métodos que contemplan la síntesis y utilización de biocombustibles de segunda generación. Un proyecto que ha cobrado fuerza en los últimos años es la producción de bioetanol mediante el bagazo de caña o residuos de materia orgánica rica en carbohidratos lignocelulósicos, pero debido a su baja rentabilidad esta línea de producción de biocombustibles aún no se ha consolidado (Álvarez y Lina, 2014).

Por el escenario complejo y poco alentador de los biocombustibles en el contexto nacional, se coincide con lo señalado por Delgado (2014) sobre la necesidad de optar por un plan energético nacional de naturaleza integral, que contemple el desarrollo de energías renovables (como la so-

lar y eólica), la planeación a largo plazo del uso del suelo, el replanteamiento del sistema de transporte urbano, entre otras cuestiones, que permitan el establecimiento y la consolidación de una armonía entre lo social y lo natural. Esto, sin quitar el dedo de renglón de los nuevos avances que produzca la investigación científica en materia de biocombustibles de segunda y tercera generación.

Breve investigación documental sobre los biocombustibles

En la siguiente actividad, los alumnos llevarán a cabo una investigación documental sobre los pros y los contras de la industria de los biocombustibles. Posteriormente, darán a conocer los resultados más significativos de esta investigación mediante una breve exposición conducida y regulada por el docente. Para ello, el profesor solicitará a los alumnos que realicen una breve investigación documental sobre los siguientes ejes relacionados con las implicaciones tecnológicas y socioambientales de los biocombustibles³:

- a) Beneficios tecnológicos, económicos y ambientales del uso de bioetanol y biodisel como biocarburantes.
- b) Desventajas tecnológicas, económicas y ambientales del uso de bioetanol y biodisel como biocarburantes.

³ Es importante que se consulten sitios ampliamente reconocidos tanto del ámbito periodístico como divulgativo, para contar en el aula con información lo más veraz y objetiva posible.

- c) Ventajas, desventajas y ejemplos del uso de biocombustibles de segunda generación.
- d) Ventajas, desventajas y ejemplos del uso de biocombustibles de tercera generación.



Imagen 47. Alumnos del CCH-plantel Sur durante la lectura crítica de un texto divulgativo (2018).

Escenario de discusión grupal

Los estudiantes exponen la información obtenida en un pequeño foro de discusión, conducido y supervisado por el docente. Esta actividad permitirá, autorregular sus aprendizajes sobre el contexto que envuelve al estudio de los biocombustibles.

22. Completen la siguiente tabla, la cual tiene como objetivo resumir y organizar los resultados de la investigación documental en torno a los biocombustibles.

Información relevante sobre el uso de biocombustibles en México	
Rubro	Información
Beneficios que puede generar el uso de bioetanol y biodiesel como biocarburantes.	
Desventajas u obstáculos que se asocian con el uso del bioetanol y biodiesel como biocarburantes.	
Dos beneficios y dos desventajas que se asocian con la producción y uso de biocombustibles de segunda generación.	
Dos beneficios y dos desventajas que se asocian con la producción y uso de biocombustibles de tercera generación.	

23. Tomando en cuenta lo revisado hasta el momento sobre biocombustibles, contesta la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las condiciones que deben cumplirse para que la producción y uso de biocombustibles sea una ruta plausible, que contribuya tanto al cuidado del medio ambiente como a la reducción del uso de combustibles fósiles? Justifica tu respuesta.
24. Tomando en cuenta todo el trabajo emprendido en esta estrategia, redacten una breve conclusión (de no más de 10 renglones) sobre el valor que posee el estudio de esta temática en particular en su formación científica en el Colegio.

IV. Producto final. Elaboración de un ensayo

Como producto final, los alumnos realizarán de forma individual un ensayo sobre la relevancia y viabilidad de los biocombustibles. Esto con el objetivo de dar seguimiento a los aprendizajes generales construidos durante el proceso de lectura crítica.

¿Qué es un ensayo académico?

El **ensayo académico** es un texto argumentativo en prosa que analiza, interpreta o evalúa un tema mediante argumentos.

El ensayo pretende responder una interrogante o problema de interés (no necesariamente demostrar una hipótesis) y trata de respaldar una posición por medio de la argumentación, es decir, por medio de la demostración de hechos, resultados de experimentos o estudios. Este tipo de texto desarrolla el pensamiento crítico, ya que posibilita a quien lo escribe analizar con profundidad un problema y su posible solución.

Las características del ensayo académico varían, según los requerimientos del modelo de cita y referencia que se esté utilizando. Sin embargo, se puede destacar que:

- a. Emplea un lenguaje formal.
- b. Se suele escribir en tercera persona, para dotar al texto de más objetividad.

- c. Lo presentado debe estar basado en contenidos disciplinares relevantes y veraces.
- d. Sustenta una postura u opinión justificada mediante respaldos de autoridad (haciendo uso de notas y citas textuales procedentes de instituciones, investigadores, entre otros).
- e. La extensión es variable, pero debe permitir la demostración de la tesis mediante argumentos propios.
- f. Posibilita desarrollar una postura propia y sustentarla.

La estructura del ensayo es la siguiente:

- Título y subtítulo.
- Autor.
- Introducción (en la cual se expone el tema, la tesis, idea central o postura que se pretende demostrar y la posición o idea que se pretende fundamentar).
- Desarrollo (es propiamente el desarrollo del tema expuesto anteriormente mediante los argumentos; el estudiante argumenta sustentando sus posturas con el uso de respaldos de autoridad mediante citas textuales).
- Conclusión (retoma los argumentos principales que permitieron comprobar o reafirmar la tesis).
- Referencias en formato APA (o algún otro formato).

Para la elaboración de tu ensayo revisa las siguientes páginas:

<https://portalacademico.cch.unam.mx/repositorio-de-sitios/historico-social/historia-universal-l/HUMCI/ENSAYO.htm>

<http://elensayohipertextual.azc.uam.mx/ensayo-academico.html>

<http://blog.udlap.mx/blog/2014/11/ensayoacademico>

Para realizar el ensayo sobre la temática estudiada en este proceso de análisis textual, considera los siguientes lineamientos:

- a) El título será libre, pero debe hacer alusión al tema central estudiado en clase: los biocombustibles.
- b) Su extensión mínima debe ser de cuartilla y media y máxima de dos cuartillas (800 a 1200 palabras aproximadamente).
- c) Se sugiere utilizar el programa Word, con letra Arial, tamaño 12, con interlineado y márgenes estandarizados de acuerdo con los criterios APA.
- d) Debe sustentarse mediante una investigación previa en torno al tema que habrá de desarrollarse.
- e) Se sugiere argumentar en torno a la relevancia de los biocombustibles, explicando ventajas y desventajas.
- f) Describir brevemente el papel que juegan algunos polímeros naturales (ricos en carbohidratos lignocelulósicos) en la obtención de biocombustibles de segunda generación.
- g) Referenciar qué condiciones se deben cumplir para que los biocombustibles se conviertan en una ruta de energía alternativa viable que contribuya a disminuir el deterioro ambiental. Al respecto, se recomienda consultar el siguiente documento: Centro Mario Molina. (2010). “Los Biocombustibles en México”. Disponible en: http://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2012/05/1.-Los-biocombustibles-en-M%C3%A9xico.-Postura-del-CMM.-2010_final-1.pdf

- h) Lee los textos revisados en clase y realiza fichas de trabajo para extraer la información que consideres relevante, para sustentar tu tesis y los argumentos.
- i) Para la redacción de los argumentos completa el siguiente cuadro.

Planeación de los argumentos			
Tesis y/o postura:			
Ventajas del uso de biocombustibles	Argumentos o puntos de vista que apoyan el uso de biocombustibles (ideas completas).	Lo anterior lo sustento en la información siguiente (citas textuales).	Mis fuentes son (enunciar la fuente en formato APA).
	1.		
	2.		
Desventajas del uso de biocombustibles	Argumentos o puntos de vista que están en desacuerdo con el uso de biocombustibles (ideas completas).	Lo anterior lo sustento en la información siguiente (citas textuales).	Mis fuentes son (enunciar la fuente en formato APA).
	1.		
	2.		

- j) Para la redacción de tu ensayo considera las siguientes pautas:

Primera parte Introducción	Párrafos 1 y 2	Dedica uno o dos párrafos para enunciar las premisas o justificación del tema, tesis y/o la postura.
Segunda parte Desarrollo	Párrafos del 3 al 6	Expón los argumentos o razones que sustentan la tesis, con sus correspondientes razones y citas textuales que apoyen los argumentos. Refuta ideas o argumentos contrarios a la posición que defiendes sobre el tema. Menciona información delicada y/o controvertida sobre el tema.
Tercera parte Conclusión	Párrafos 7 y 8	Reafirma o reconsidera tu posición inicial sobre el tema y haz alusión a cómo contribuye esto en tu formación científica en el Colegio.

Para la redacción de tu ensayo no olvides emplear conectores argumentativos que te permitan relacionar ideas. En el sitio *Web del maestro* podrás encontrar algunos que te permitirán enlazar y dar progresión a tus ideas. La dirección es: <https://webdelmaestrocmf.com/portal/tipos-conectores-linguistico-argumentativos/>

Lista de cotejo. Ensayos

Nombre: _____ Grupo: _____ Fecha: _____ Coevalúa: _____

Instrucciones: Revisa, lee y coevalúa el ensayo; empleando esta lista de cotejo. Escribe tus observaciones con pluma de otro color. Finalmente completa lo siguiente.

Categoría	Número	Criterio	Cumple		Observaciones
			Sí	No	
Estructura, contenido y estilo	1	El ensayo tiene como tema principal los biocombustibles.			
	2	Enuncia con claridad la postura o tesis de quien lo escribe.			
	3	Se evidencian los argumentos o razones que sustentan o están en desacuerdo con la tesis o postura			
	4	Los argumentos presentan notas y/o citas con sus respectivas fuentes, para ello emplea las Normas APA.			
	5	Emplea conectores argumentativos que hacen el texto cohesivo y coherente.			
	6	Presenta una estructura de introducción, desarrollo y conclusión.			
	7	El lenguaje del ensayo evidencia el manejo de los términos propios del tema.			
	8	Cumple con la extensión mínima y los requerimientos de presentación			
	9	Presenta las referencias consultadas debidamente consignadas en formato APA.			
	10	Hay un promedio de 3 errores ortográficos.			

Referencias consultadas

- Álvarez, A. y Lina, N. (2014). Los biocombustibles en América Latina y México. En Gay, C. y Cos, A. (ed.). *Biocombustibles en México: una alternativa para la reducción de la dependencia de hidrocarburos y la mitigación de los gases de efecto invernadero*. (81-104). Ciudad de México: Programa de Investigación en Cambio Climático-UNAM.
- Callejas, E. y Quezada, V. (2009). Los biocombustibles. *El cotidiano*. (157), 75-82.
- Campos Arenas, A. (2005). *Mapas conceptuales, mapas mentales y otras formas de representación del conocimiento*. Bogotá: Cooperativa editorial Magisterio.
- Centro Mario Molina. (2010). Los biocombustibles en México. Disponible en: http://centromariomolina.org/wp-content/uploads/2012/05/1.-Los-biocombustibles-en-M%C3%A9xico-Postura-del-CMM.-2010_final-1.pdf
- Delgado, G. (2014). Biocombustibles en México: un balance crítico de sus impactos socioambientales. En Gay, C., y Cos, A. (ed.). *Biocombustibles en México: una alternativa para la reducción de la dependencia de hidrocarburos y la mitigación de los gases de efecto invernadero*. (107-130). Ciudad de México: Programa de Investigación en Cambio Climático-UNAM.
- Espinosa de Aquino, Wendy, Mónica Goddard Juárez, Claudia Gutiérrez Arellano y Consuelo Bonfil Sanders,

- “Biocombustibles, el debate actual”, publicado en *¿Cómo ves?*, Año 11, Núm. 123, pp. 10-14. Cd de México 2009.
- Iriberry, S. y Martínez, R. (2010). *Química 4º (Educación Media)*. Chile: Santillana-Gobierno de Chile.
- Melo, V. y Cuamatzi, T. O. (2006). *Bioquímica de los procesos metabólicos*, México: Reverté.
- Orozco Abad, J. (coord.). (2010). *Escribe mejor para aprender bien en el bachillerato*. Ciudad de México: UNAM.
- Romanelli, G., Ruiz, D. y Pasquele, G. (2016). *Química de la biomasa y los biocombustibles*. Buenos Aires: EDULP-Universidad Nacional de la Plata. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/59392/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1

III. Instrumentos para evaluar el pensamiento crítico

III. Instrumentos para evaluar el desarrollo del pensamiento crítico mediante la lectura y análisis de textos divulgativos

En este apartado se presentan tres instrumentos para reconocer y evaluar el desarrollo del pensamiento crítico al incorporar, leer y analizar textos divulgativos en las clases de química de la ENCCH de la UNAM. Como se ha mencionado al inicio de esta antología, para promover el pensamiento crítico se tomó como referente la noción provista por los académicos R. Paul y L. Elder (2006) de la *Critical Thinking Community*¹. En esta visión, el pensamiento crítico es definido como el modo de pensar sobre cualquier tema, contenido o problema en el que un sujeto mejora la calidad de su pensamiento inicial.

¹ <https://www.criticalthinking.org/>

3.1 Rúbrica para evaluar el pensamiento crítico

Para evaluar el desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes al leer, analizar y problematizar artículos divulgativos, se elaboró una rúbrica, tomando como base los ocho elementos que figuran en la noción de pensamiento crítico de Paul y Elder (2007), así como en los criterios o estándares que recomiendan estos autores para su evaluación. Tanto los criterios como los estándares presentes en esta visión de la criticidad, fueron descritos en el primer apartado de esta antología que lleva por título elementos teóricos.

Una rúbrica se define en el ámbito educativo como una guía de puntuación utilizada para dar seguimiento al aprovechamiento de los alumnos sobre aprendizajes, habilidades o actitudes determinadas. Se caracteriza por presentarse en forma de tabla, en la cual se desglosa una escala de evaluación o niveles de desempeño, con criterios específicos de rendimiento (Gatica-Lara, 2012). Generalmente, las rúbricas son instrumentos que posibilitan la evaluación de fines o metas educativas que se consideran complejas, subjetivas, evolutivas e imprecisas. Esto mediante el uso de criterios que cualifican progresivamente el desempeño. De esta manera, toda rúbrica está constituida por, al menos, tres elementos:

- **Criterios de evaluación.** Son los factores, rubros o elementos que determinan la calidad de un aprendizaje, habilidad o aptitud en cuestión.

- **Indicadores o definiciones de calidad.** Ofrecen una explicación detallada de lo que el estudiante, persona o grupo debe exhibir y/o realizar para demostrar un nivel o puntaje de rendimiento.
- **Escala de puntuación o niveles de rendimiento.** Informa, ya sea a través de niveles y/o una escala de puntaje, el grado de aprovechamiento alcanzado.

El uso de este tipo de instrumentos es conveniente para reconocer y evaluar el desarrollo del pensamiento crítico porque como se ha mencionado en esta antología, el pensar críticamente es una cualidad progresiva que se adquiere con la experiencia, la práctica y la retroalimentación continua. En consecuencia, es necesario enmarcar su valoración en el ámbito escolar desde una óptica flexible y cualitativa (Oliveras y Sanmartí, 2013).

Como se ha mencionado, en la rúbrica elaborada para evaluar el desarrollo del pensamiento crítico, los rubros de evaluación son los ocho elementos que configuran el acto de pensar, según la visión de Paul y Elder (2006); los indicadores están basados en los criterios o estándares que estos autores recomiendan para la valoración de dichos elementos. En tanto que los niveles de desempeño están ligados con una escala de puntaje que va del 1 al 4. De esta manera, la calificación de 1 denota un desempeño deficiente, 2 un rendimiento suficiente, 3 un aprovechamiento regular y 4 una ejecución óptima.

Es importante señalar que algunos elementos presentes en la rúbrica corresponden a habilidades subyacentes durante el proceso de análisis del contenido de los textos divulgativos, como es el caso de la identificación de la idea o ideas centrales, los supuestos, la explicitación de inferencias y lo concerniente a los propósitos o fines que buscan cubrir este tipo de publicaciones. Mientras que otros requieren de una conceptualización transversal, esto es, de un seguimiento continuo y global del aprovechamiento en las diferentes etapas que contemplan las estrategias de lectura crítica propuestas en esta antología. Se consideran elementos o rubros transversales, la identificación y uso de conceptos disciplinares clave, el manejo de información, la identificación de puntos de vista y lo concerniente a implicaciones CTS-A de los temas estudiados. La rúbrica elaborada se muestra a continuación.

Rúbrica de evaluación del pensamiento crítico²

Aspectos	1. Deficiente	2. Bajo desempeño	3. Desempeño regular	4. Desempeño óptimo o excelente
Pregunta o idea central	Se cita información irrelevante en torno al tema central del texto divulgativo.	Identifican parcialmente el tema o idea central del texto divulgativo.	Identifican correctamente el tema o idea central del texto divulgativo	Identifican de forma clara, precisa y correcta el tema o idea central del texto divulgativo.
Propósito	No identifican el propósito que pretende cumplir el texto en el público lector.	Identifican de forma ambigua el propósito que pretende cumplir el texto en el público lector.	Identifican con claridad el propósito que pretende cumplir el texto en el público lector y explicitan virtudes y limitaciones de la publicación.	Identifican con claridad el propósito que pretende cumplir el texto en el público lector, así como la importancia de las ideas y valores asociados con la publicación.
Supuestos	Formulan conjeturas o suposiciones erróneas sobre la temática en cuestión, pues resultan inconsistentes con la información y el contexto revisado en su análisis.	Formulan conjeturas o suposiciones ambiguas sobre la temática en cuestión, ya que muestran poca validez con la información y el contexto revisado en su análisis.	Formulan conjeturas o suposiciones válidas sobre la temática en cuestión, las cuales guardan relación con la información y el contexto revisado en su análisis.	Formulan conjeturas o suposiciones correctas y válidas sobre la temática en cuestión, las cuales resultan pertinentes con la información y el contexto revisado en su análisis.
Inferencias	Citan literalmente frases del texto divulgativo, sin inferir la posición del autor. Sus argumentos o cuestionamientos sobre la temática estudiada resultan erróneos y/o irrelevantes.	Muestran limitaciones para inferir la posición del autor del texto divulgativo, así como para construir cuestionamientos o argumentos válidos sobre la temática estudiada.	Inferen la posición del autor del texto divulgativo, pero manifiestan deficiencias para construir cuestionamientos o argumentos válidos sobre la temática estudiada.	Inferen con claridad la posición del autor del texto divulgativo y muestran dominio para construir cuestionamientos o argumentos válidos sobre la temática estudiada.

² Rúbrica basada en los indicadores de Paul y Elder (2007) y tomada de Meinguer y Pérez (2021).

Conceptos	Exhiben una comprensión errónea de la terminología científica y de los conceptos que guardan relación con el tema.	Exhiben una comprensión limitada de la terminología científica y de los conceptos que guardan relación con el tema.	Exhiben una comprensión suficiente de la terminología científica y de los conceptos que guardan relación con el tema.	Exhiben un dominio amplio de la terminología científica y los conceptos que guardan relación con el tema.
Información	Muestran dificultades para identificar datos, hechos y evidencias en el análisis de la temática presentada en el texto divulgativo.	Muestran habilidades limitadas para identificar datos, hechos y evidencias, así como para evaluar afirmaciones en el análisis de la temática presentada en el texto divulgativo.	Muestran habilidades suficientes para identificar los datos, hechos y evidencias, así como para evaluar afirmaciones en el análisis de la temática presentada en el texto divulgativo.	Muestran amplio dominio para identificar datos, hechos y evidencias, así como para evaluar afirmaciones en el análisis de la temática presentada en el texto divulgativo.
Puntos de vista	Reconocen un solo punto de vista (el del autor) respecto al tema expuesto en el texto y lo toman como cierto e incuestionable.	Reconocen con cierta ambigüedad la existencia de varios puntos de vista respecto al tema expuesto en el texto. No establecen con claridad acuerdos y desacuerdos en su contrastación.	Reconocen diferentes puntos de vista respecto al tema expuesto en el texto. Muestran limitaciones para establecer acuerdos y desacuerdos en su contrastación.	Reconocen diferentes puntos de vista respecto al tema expuesto en el texto. Muestran dominio para establecer acuerdos y desacuerdos en su contrastación.
Implicaciones	Manifiestan dificultades para identificar las implicaciones tecnológicas, sociales y ambientales que guardan relación con el tema.	Manifiestan una comprensión limitada de las implicaciones tecnológicas, sociales y ambientales que guardan relación con el tema.	Manifiestan una comprensión suficiente de las implicaciones tecnológicas, sociales y ambientales que guardan relación con el tema.	Manifiestan un amplio dominio en la comprensión de las implicaciones tecnológicas, sociales y ambientales que guardan relación con el tema.

Desde una óptica funcional, esta rúbrica puede resultar útil para:

1. Valorar el éxito en el desempeño de cada elemento del pensamiento crítico de forma individual o grupal.
2. Determinar la puntuación promedio por rubro o elemento. Para ello, se requiere promediar el puntaje obtenido por rubro entre los integrantes o equipos que componen una muestra o grupo de estudiantes.
3. Para conocer la puntuación global en el desarrollo del pensamiento crítico. Es necesario calcular la media de los puntajes promedio obtenidos en los ocho elementos por el grupo o muestra de estudiantes.

Finalmente, se considera que esta rúbrica puede ser perfecta y fungir como una guía en futuros estudios o investigaciones que tengan como finalidad robustecer la evaluación del pensamiento crítico en la educación científica escolar.

3.2 Valoración del aprendizaje actitudinal

Una característica que es inherente al pensamiento crítico es que permite fomentar un accionar intelectual, que va desde la reflexión hasta la acción, ya que posee un importante componente disposicional. Como se mencionó en el primer apartado de esta antología, Paul y Elder (2006 y 2007) y Jarman y McLune (2011) señalan que el desarrollo de un núcleo de rasgos de carácter relacionados con el proceder

intelectual responsable, es el indicador más importante para sostener que un individuo ha cultivado la facultad de pensar críticamente. Entre las actitudes que estos autores asocian con la criticidad del pensamiento se encuentran la apertura de mente, la confianza en la razón, la afinidad por el diálogo, la cooperación, la tolerancia, la honestidad, la autonomía y la perseverancia intelectual. Todas estas cualidades disposicionales adquieren relevancia en la actualidad, porque capacitan para la participación informada en procesos de diálogo social y toma de decisiones, objetivos que aparecen recurrentemente en el discurso educativo contemporáneo (Santisteban, 2013).

Para llevar a cabo una aproximación de la evaluación de las actitudes relacionadas con el pensamiento crítico en las actividades propuestas en esta antología, se sugiere tomar en consideración la propuesta de los académicos irlandeses Ruth Jarman y Billy McClune (2011), ya que incluyen algunos elementos disposicionales que figuran o están presentes en la noción de pensamiento crítico de Paul y Elder (2006). En su propuesta, la valoración del aprendizaje actitudinal puede situarse en tres niveles de desempeño: básico, medio y avanzado. Los indicadores en cada nivel se muestran en la siguiente tabla.

Aprendizajes actitudinales

Nivel básico (1)

- Los estudiantes deben entusiasmarse e interesarse por descubrir más aspectos de la ciencia en los medios, y entender que estas fuentes pueden alertarlos sobre cuestiones importantes.

Nivel intermedio (2)

- Los estudiantes deben responder a los contenidos de la ciencia en los medios con una mentalidad abierta, escéptica (saludable o moderada) y una actitud reflexiva.
- Deben de reconocer que la ciencia es una parte importante de la vida y la cultura.

Nivel superior (3)

- Los estudiantes son capaces de emitir juicios fundamentados sobre cuestiones sociocientíficas.
- Desarrollan la confianza y el compromiso suficiente para investigar y construir opiniones informadas sobre un tema disciplinar en cuestión (perseverancia intelectual).
- Los jóvenes son capaces de tomar decisiones racionales sobre aspectos sociocientíficos de interés (autonomía intelectual).

Propuesta para valorar el aprendizaje actitudinal al incorporar y analizar textos divulgativos en la educación científica escolar. Jarman y McClune (2011).

Es importante reiterar que esta guía de evaluación del aprendizaje actitudinal constituye solamente una aproximación valorativa, la cual puede dar pauta al diseño de instrumentos de evaluación más robustos, rigurosos y confiables.

3.3 Evaluación de la argumentación en el ámbito escolar

La argumentación es una ruta idónea para identificar los presupuestos subyacentes en el razonamiento del alumnado, para evaluar su rigor y consistencia, así como promover la metacognición y la acción comunicativa. Razón por la cual se considera que esta aptitud intelectual guarda una fuerte relación con el pensamiento crítico (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2009). En las cinco estrategias de lectura crítica presentes en este recurso didáctico se solicita la elaboración de argumentos en los estudiantes, de forma más pronunciada en los procesos de análisis textual relacionados con la asignatura de Química IV. Por ello, es imprescindible contar con un instrumento para dar seguimiento a las habilidades relacionadas con la argumentación.

El instrumento propuesto es nuevamente una rúbrica, ya que la argumentación como el pensamiento crítico es una aptitud intelectual compleja, subjetiva y progresiva, que requiere de una valoración cualitativa. La rúbrica elaborada es una adaptación de Meinguer (2019). En este instrumento se muestran los elementos esenciales que debe considerar un sujeto, al exponer de manera coherente y fundamentada una aseveración, argumento o conclusión. Además, permite identificar la asunción de una postura y la actitud hacia una temática en cuestión.

Del instrumento original se tomaron aquellos elementos que resultaron consistentes con las actividades de argumen-

tación propuestas en esta antología. Así, la rúbrica utilizada quedó conformada por siete rubros que son evaluados con indicadores agrupados en cuatro niveles de desempeño. Esta herramienta de evaluación fue probada en octubre de 2019, cuando se implementó la primera estrategia de esta antología que lleva por título “La química verde” en la ENCCH plantel Sur con dos grupos de quinto semestre, obteniéndose resultados confiables y que fueron publicados en una revista indexada de la Universidad de Sevilla (Meinguer y Pérez, 2021).

Para la utilización de la rúbrica se requiere ubicar en cada elemento de análisis el indicador que mejor corresponde con el desempeño observado en un estudiante y, enseguida, asociar un valor numérico (de 1 a 4), el cual denota qué tanto exhibe dicha habilidad argumentativa. De acuerdo con este instrumento, una argumentación deficiente estará descrita por menos de 7 puntos, un desempeño limitado por debajo de los 14 puntos, el ejercicio de una argumentación regular oscilará en el intervalo de 18 a 21 puntos y un rendimiento óptimo estará descrito con un puntaje de 28. Una ventaja de utilizar este instrumento de evaluación es que permite efectuar un análisis por rubro, lo cual es muy conveniente para establecer tendencias muestrales y realizar valoraciones más precisas. La rúbrica para evaluar la argumentación escolar se muestra a continuación.

Rúbrica para la evaluación de habilidades argumentativas³

Aspectos a evaluar	Niveles de desempeño			
	1 (Deficiente)	2 (Suficiente)	3 (Regular)	4 (Óptimo)
1. Vocabulario	El uso que hace de las palabras es inapropiado y confuso.	El uso que hace de las palabras es reiterativo.	El uso que hace de las palabras es preciso.	El uso que hace del lenguaje es amplio y apropiado.
2. Información disciplinar	Hay ausencia de conceptos disciplinares clave sobre el tema.	Utiliza de manera limitada la información disciplinar en torno al tema.	Reconoce de manera correcta conceptos científicos clave, pero hace poco uso de ellos.	Utiliza la información disciplinar de manera apropiada y suficiente en la construcción de argumentos.
3. Información contextual	No reconoce la presencia de aspectos contextuales sobre el tema.	Su dominio contextual del tema es pobre y desarticulado.	Reconoce información contextual relevante, pero su utilización es limitada.	Hace uso de la información contextual de manera correcta y apropiada en la construcción de argumentos.
4. Postura	Ofrece comentarios generales.	Comenta las posturas y no asume ninguna.	Enuncia una postura de manera superficial (a favor o en contra).	Define claramente una postura y ofrece una justificación al defenderla.
5. Coherencia	Menciona ideas desconectadas y/o contradictorias.	Hay una conexión débil o ambigua en los argumentos.	Sus argumentos son consistentes, pero no congruentes.	Presenta consistencia y congruencia en su redacción.
6. Justificación	Su afirmación o rechazo se sustenta en lo que cree que es verdadero.	Su afirmación o rechazo se fundamenta en opiniones externas de orden común (creencias socioculturales).	Su afirmación o rechazo se sustenta en experiencia o juicios personales que generaliza.	Su afirmación o rechazo se sustenta en evidencia empírica y/o en fuentes documentales acreditadas.
7. Contra-argumentación	Ausencia de contraargumentación o refutaciones.	Referencia de manera trivial aspectos controvertidos a la idea o posición que defiende.	Comenta algunos aspectos controvertidos y/o contrarios a su posición.	Replantea argumentos basándose en los puntos controvertidos y/o contrarios a su posición.

³ Instrumento de evaluación elaborado y reportado por Meinguer (2019).

IV. BIBLIOGRAFÍA

- Alcíbar, M. (2015, mayo-junio). Comunicación pública de la ciencia y la tecnología: una aproximación crítica a su historia conceptual. *Arbor. Ciencia, pensamiento y cultura*, 191 (773). Disponible en: <http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/2045/2556>
- Alegría, M. (2005). *Cómo leer la ciencia para todos* (Géneros discursivos). México: SEP-FCE-Conacyt.
- Alvarado, P. (2014). El desarrollo del pensamiento crítico: una necesidad en la formación de los estudiantes universitarios. *DIDAC* (nueva época), 64, 14.
- Agosto Riera, S. E., Álvarez Angulo, T., Hilario Silva, P., Mateo Girona, M. T. y Uribe Álvarez, G. (2017). *Géneros discursivos y estrategias para redactar textos académicos en secundaria*. Barcelona: Octaedro.
- Blanco, A. (2004). Relaciones entre la educación científica y la divulgación de la ciencia. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 1(2), pp. 70-86. Cádiz. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92010202>
- Boisvert, J. (2004). *La formación del pensamiento crítico*. México: FCE.
- Calvo, M. (2003). *Divulgación y periodismo científico: entre la claridad y la exactitud*. México: DGDC-UNAM.

- Campos Arenas, A. (2005). *Mapas conceptuales, mapas mentales y otras formas de representación del conocimiento*. Bogotá: Cooperativa editorial Magisterio.
- Casanova, M. A. (2016). *Manual de evaluación educativa*. Madrid: La muralla.
- Cassany, D. (1999). *Construir la escritura*. Barcelona: Paidós.
- (2010). Diez claves para enseñar a interpretar. *Leer para aprender. Leer en la era digital*. Madrid: Ministerio de Educación. Disponible en <https://sede.educacion.gob.es/publiventa/ImageServlet?img=13939.pdf&D=OK>
- Castelló, M. (coord.) (2007). *Escribir y comunicarse en contextos científicos y académicos*. Barcelona, España: Graò.
- Code, L. (2011). Responsabilismo. *Normas, Virtudes y Valores Epistémicos*, 279-298, México: IIF-UNAM.
- Cubo de Severino, L. (coord.). (2014). *Los textos de la ciencia. Principales clases del discurso académico-científico*. Buenos Aires: Comunicarte.
- De Vega, M. (1990). *Introducción a la psicología cognitiva*. Madrid: Alianza editorial.
- Díaz Barriga F. y Hernández R. G. (2010). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista*. México: McGraw-Hill.
- ENCCH. (2012). El Modelo Educativo del Colegio de Ciencias y Humanidades. *Comisiones especiales para la Actualización de los programas de estudio de las materias* (Material de Lectura). Ciudad de México: UNAM. Disponible en: <http://www.cch.unam.mx/sites/default/files/CEAPEM-sep2012.pdf>

- (2006). Orientación y Sentido del Área de Ciencias Experimentales. En *Orientación y Sentido de las áreas del Plan de Estudios Actualizado*. México: UNAM. Disponible en: <http://www.ccb.unam.mx/sites/default/files/actualizacion2012/Sentidoareas.pdf>
- (2016). Programas de estudio. Área de Ciencias Experimentales. Química III-IV. Ciudad de México: UNAM. Disponible en: https://www.ccb.unam.mx/sites/default/files/programas2016/QUIMICA_III_IV.pdf
- Facione, P. (2015, enero). Critical thinking: What it is and why it counts. *Insight Assessment*, 1-23. Disponible en: https://www.nyack.edu/files/CT_What_Why_2013.pdf
- Gadea, I., Vilches, A. y Gil, D. (2009). Posibles usos de la prensa en la educación científica y tecnológica. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, 23, 153-169. Disponible en: <https://ojs.uv.es/index.php/dces/article/view/2409/1954>
- García Parejo, I. (coord.). (2011). *Escribir textos expositivos en el aula. Fundamentación teórica y secuencias didácticas para diferentes niveles*. Barcelona: Graò.
- Gatica-Lara, F. y Uribarren-Berrueta, T. (2013). ¿Cómo elaborar una rúbrica? *Investigación en educación médica*, 2(5), 61-65. Disponible en: http://riem.facmed.unam.mx/sites/all/archivos/V2Num01/10_PEM_GATICA.PDF
- Halkia, K. y Mantzouridis, D. (2005). Students views and attitudes towards the communication code used in press articles about science. *International Journal of Science Education*, 27(12), 1395-1411.

- Herrera, A. (2008). La situación de la enseñanza del pensamiento crítico. Pasado, presente y futuro de la enseñanza del pensamiento crítico en México. *La razón comunicada V/ Ergo* (Nueva época), 15-50. Disponible en: <https://cdigital.uv.mx/bitstream/handle/123456789/36599/2008215.pdf;jsessionid=ACF223425B77D67613CC3E958F2674CF?sequence=1>
- Kant, I. (2002). *Crítica de la razón pura*. Madrid: Tecnos.
- Jarman, R. y McClune, B. (2011). *El desarrollo del alfabetismo científico. El uso de los media en el aula*. Madrid: Ediciones Morata-Ministerio de Educación.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (coord.). (2009). *Enseñar ciencias*. Barcelona: Graò.
- Jiménez-Aleixandre, M. y Puig, B. (2012, enero). Argumentation, evidence evaluation and critical thinking. *Second International Handbook of Science Education*, pp. 1001-1015. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/278710724_Second_International_Handbook_of_Science_Education/link/55939db608ae5af2boeb8f78/download
- Lomas, C. (1999). *Cómo enseñar a hacer cosas con las palabras*. Vol. 1. Barcelona: Paidós.
- Marbá, A., Márquez, C. y Sanmartí, N. (2009, enero). ¿Qué implica leer en clase de ciencias? *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*. (59) pp. 102-111. Disponible en: <http://gent.uab.cat/conxitamarquez/sites/gent.uab.cat.conxitamarquez/files/que%20implica%20leer%20en%20clase%20de%20ciencias.pdf>

- Márquez, C. y Prat, A. (2005). Leer en clase de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 23 (3), 431-440.
- Marín, M. (2015). *Escribir textos científicos y académicos*. Buenos Aires: FCE.
- McClune, B. y Jarman, R. (2012). Encouraging and Equipping Students to Engage Critically with Science in the News: What Can We Learn from the Literature? *Studies in Science Education*, 48(1). 1-49. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03057267.2012.655036>
- Meinguer, J. (2016). La lectura crítica de las cuestiones sociocientíficas en los medios de comunicación. *Eutopía*, 9(25), pp. 53-61. Disponible en: <https://cutt.ly/Um4qlpZ>
- (2017). *Estudio sobre la contribución de la comunicación de la ciencia al desarrollo del pensamiento crítico en la educación química preuniversitaria* (tesis de Doctorado). Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, México. Disponible en <http://132.248.9.195/ptd2017/julio/0761280/Index.html>
- (2018). El valor del pensamiento crítico en la educación científica. *Eutopía. Revista del Colegio de Ciencias y Humanidades para el bachillerato*, 11(29), 5-11. Disponible en <http://www.revistas.unam.mx/index.php/eutopia/article/view/68494/60488>
- (2019). La comunicación de la nanotecnología a través del análisis crítico de textos informales. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 12 (22), 3-35. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2019.22.61953>

- Meinguer, J. y Pérez, M. C. (2021). Desarrollo y evaluación de elementos de pensamiento crítico sobre la química verde en el bachillerato. *Investigación en la Escuela*, 103, 106-124. Disponible en: <https://doi.org/10.12795/IE.2021.i103.o8>
- Norris, S., Phillips, L. y Korpan, C. (2003). University students interpretation of media reports of science and its relationship to background knowledge, interest, and reading difficulty. *Public Understanding of Science*, 12(2), 123-145. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/09636625030122001>
- Oliveras, B. y Sanmartí, N. (2009, junio). La lectura como medio para desarrollar el pensamiento crítico. *Educación Química*. vol. 20(1), 233-245. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v20s1/v20s1a5.pdf>
- Oliveras, B., Márquez, C. y Sanmartí, N. (2013). The Use of Newspaper Articles as a Tool to Develop Critical Thinking in Science Classes. *International Journal of Science Education*. 35(6), 885-905. Disponible en: <https://bit.ly/39Rb3Uw>
- Orozco Abad, J. (coord.). (2010). *Escribe mejor para aprender bien en el bachillerato*. Ciudad de México: UNAM.
- Paul, R. y Elder, L. (2006). *The Miniature Guide to Critical Thinking-Concepts & Tools*. The Foundation for Critical Thinking. Disponible en: https://www.criticalthinking.org/files/Concepts_Tools.pdf
- (2007). *A Guide for Educators to Critical Thinking Competency Standards*. Foundation for Critical Thinking. Disponible en: <https://www.criticalthinking.org/store/products/>

critical-thinking-competency-standards-for-educators/227

- Reynoso, E. (2002). La cultura científica y la comunidad de divulgadores de la ciencia y la técnica. Tonda, J., Sánchez, A. y Chávez, N. (coords.). *Antología de la divulgación de la ciencia en México*. Ciudad de México: DGDC-UNAM.
- Sánchez, A. (2010). *Introducción a la comunicación escrita de la ciencia*. México: Universidad Veracruzana.
- Santisteban, A. (2013). La investigación sobre el desarrollo de la competencia social y ciudadana para una participación crítica. En García, F. y De Alba N. *Educación para la participación ciudadana en la enseñanza de las ciencias sociales*. (277-286) Sevilla: Díada Editora.
- Serafini, T. (1994). *Cómo se escribe*. Barcelona: Paidós.
- Rosado, J. A. (2016). *Cómo argumentar. Antología y práctica*. Ciudad de México: Praxis.
- Unesco. (2006). *Media Education. A Kit for Teachers Students, Parents and Professionals*. Paris: Unesco. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000149278>
- Wright, I. (2002). Critical Thinking in the Schools: Why Doesn't Much Happen? *Informal Logic. A Review of the Literature*. 22 (2), 137-154. Disponible en: https://informallogic.ca/index.php/informal_logic/article/view/2579/2020
- Zariñán Medina, I. (s/f). *Organizadores gráficos. Estrategias metodológicas para la comprensión lectora*. México: Editorial Grandes Ideas Siglo XXI.



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

