



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
MAESTRÍA EN DOCENCIA PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

EVALUACIÓN DEL USO DE LITERATURA PRIMARIA PARA LA COMPRENSIÓN  
DE LOS PROBLEMAS AMBIENTALES

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE MAESTRA EN DOCENCIA PARA LA  
EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

PRESENTA

LUZ MARÍA DEL REFUGIO LÓPEZ GÓMEZ

TUTOR: DR. CARLOS AMADOR BEDOLLA  
FACULTAD DE QUÍMICA

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:  
DR. DAVID OCHOA SOLÍS, INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOLÓGICAS  
DRA. ALEJANDRA GARCÍA FRANCO - MAESTRÍA EN DOCENCIA  
PARA LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

MÉXICO, D. F. DICIEMBRE 2013



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO**

<b>Presidente</b>	<b>Dr. Andoni Garritz Ruíz</b>
<b>Vocal</b>	<b>Dr. David Ochoa Solís</b>
<b>Secretaría</b>	<b>Dra. Alejandra García Franco</b>
<b>Vocal</b>	<b>Dr. Adolfo Eduardo Obaya Valdivia</b>
<b>Vocal</b>	<b>Dr. Carlos Amador Bedolla</b>

## **Índice de contenido**

I. Introducción.	2
II. Marco teórico	8
III. Metodología	27
IV. Resultados	38
V. Discusión y análisis de resultados	69
VI. Conclusiones	79
VII. Referencias bibliográficas	81
VIII. Anexos	86

## INTRODUCCIÓN

La enorme capacidad que tiene el ser humano para modificar el ambiente en el que se desarrollan sus comunidades se considera una característica determinante para explicar el éxito que la especie ha tenido (Ponting, 1992). El hombre es capaz de adaptarse a casi cualquier ecosistema; consecuencias de ello son tanto la casi infinita diversidad cultural como las modificaciones en muy diversas formas y extensiones a los diferentes ambientes donde se desarrolla. Esto ha sido así desde la aparición de la especie humana; sin embargo, a partir de la revolución industrial ha sido cada vez más evidente que esta modificación del ambiente conlleva un deterioro tanto para éste como para la calidad de vida de la población.

El deterioro ambiental que ha acompañado a los grupos humanos a lo largo de toda la historia se ha ido acelerando; desde hace varias décadas, científicos de muy diversas áreas han venido presentando evidencias del daño irreparable que, como especie, estamos causando al planeta.

M. Wackernagel y W. Rees (1996) propusieron un indicador llamado “huella ecológica”, que calcula la cantidad de alimentos, energía, agua, materiales de construcción y desechos que cada individuo utiliza y genera a lo largo de un año; de acuerdo con este cálculo, desde 1985 los seres humanos en su conjunto sobrepasan la capacidad del planeta para proveer estos satisfactores; en la actualidad, le toma a la Tierra un año y seis meses regenerar lo que utilizamos en un año (Global Footprint Network, 2012).

En la actualidad, los efectos de este proceso generado por las actividades humanas han empezado a hacerse evidentes para la población en general, más allá de los investigadores del tema. En efecto, la contaminación del aire, la escasez de agua potable, la acumulación de los desechos sólidos, la disminución

de la calidad de vida debida a estos factores y otros muchos es ya un tema común en las conversaciones de la vida cotidiana.

Sin embargo, la percepción generalizada de que estos factores afectan nuestra calidad de vida no es suficiente para cambiar la situación, principalmente debido a que la solución del problema parte de una reestructuración completa de la forma en que nos relacionamos con nuestra comunidad y nuestro entorno, lo que tiene como consecuencia un cambio drástico en nuestros hábitos de vida, y eso es algo que requiere un nivel de conocimiento mucho más profundo que la mera conciencia de que hay cosas que no están bien.

La resolución de la crisis ambiental por la que atraviesa el planeta requiere de la construcción de una nueva sociedad constituida por individuos capaces de analizar de manera crítica el impacto que las actividades humanas tienen sobre el ambiente desde una escala individual hasta una escala global. Esto les permitirá comprender la magnitud y la complejidad del problema para poder modificar efectivamente sus hábitos y generar propuestas, así como contribuir a la toma de decisiones, considerando la situación actual y una perspectiva amplia y realista del futuro.

El papel de la ciencia en la resolución de la crisis ambiental a la que se enfrenta la sociedad humana es indiscutiblemente prioritario; sin embargo, cada vez es más evidente que la efectividad del trabajo científico en esta materia depende inevitablemente de un cambio en la forma en que el conocimiento científico aborda los problemas.

El cuestionamiento desde la ciencia del modelo impuesto por la estructura capitalista será fundamental si queremos resolver exitosamente los desafíos del deterioro ambiental resultado de nuestra forma de pensar el mundo y de

pensarnos a los seres humanos como “una especie única, no regida por las leyes de la naturaleza” (Toledo, 2009, p.219); propietarios del planeta con derecho a alterarlo, sin pensar en las consecuencias para el resto de los seres vivos y sin valorar apropiadamente el riesgo que esto significa para nuestra calidad de vida y ultimadamente para nuestra supervivencia como especie.

En este sentido, los profesores de ciencias de los distintos niveles educativos, tenemos en nuestras manos la oportunidad de ayudar a la construcción de una nueva concepción de la ciencia y de una nueva relación del ser humano con el ambiente.

Debido al periodo de construcción de la identidad que representa la adolescencia, los profesores de bachillerato, en particular, tenemos la oportunidad y la enorme responsabilidad de contribuir a la formación de individuos críticos hacia las consecuencias de la actividad científica y comprometidos con la transformación hacia una sociedad con nuevos valores.

Decir que “la solución está en la educación” se ha convertido ya en un lugar común; sin embargo, decir “educación” es decir muy poco porque existe una enorme variedad de sistemas educativos y de propuestas pedagógicas que pueden o no ser de utilidad en función del aprendizaje que se está persiguiendo y de las características de los individuos que forman la comunidad a la que están dirigidos.

Desde hace varios años, en muchas partes del mundo, incluido nuestro país, se han hecho diversos esfuerzos por incluir la perspectiva ambiental en los planes y programas de estudio de los diversos niveles educativos desde el preescolar hasta el bachillerato y, desde entonces, investigadores dedicados a las áreas educativa y ambiental han desarrollado y publicado estudios que permiten evaluar los

resultados que tiene la educación ambiental en la capacidad de análisis para la toma de decisiones y modificación efectiva de hábitos.

Algunos de estos investigadores (Wicker, 1969; Sanera, 1998; Makki, 2003) señalan la existencia de una brecha entre la actitud y el comportamiento; los estudios indican que la conciencia de la crisis ambiental y las actitudes positivas hacia la protección del medio ambiente no siempre se traducen en capacidad de análisis para la toma de decisiones y modificación de hábitos que efectivamente tenga como consecuencia la atenuación o solución de los problemas de contaminación y deterioro ambiental que nos afectan en la vida cotidiana.

El conocimiento es considerado una condición previa (aunque no suficiente) de la que depende el comportamiento de una persona. De acuerdo con esto, la mayor parte de las intervenciones al respecto están basadas en la transferencia del conocimiento, sin embargo, para que las estrategias educativas sean eficientes, es esencial identificar los tipos de conocimiento que promueven comportamientos efectivos y estudiar su estructura (Frick *et al.*, 2004).

Frick y colaboradores proponen una clasificación en la que se identifican tres formas de conocimiento ambiental: la primera de ellas se refiere a la forma en que funciona un sistema, es decir, la comprensión de los ecosistemas, los procesos que ocurren en ellos de manera natural y la forma en que las actividades humanas los afectan; una segunda forma de conocimiento es la relativa a la acción, es decir, lo que se puede hacer al respecto. Una tercera forma de conocimiento se refiere al beneficio o la efectividad de las acciones; esta forma de conocimiento es especialmente relevante cuando una persona tiene que decidir entre una variedad de posibles acciones y actuar en consecuencia.

La base de los programas educativos es el conocimiento que se refiere a la forma



en que los sistemas funcionan; se espera que el conocimiento relativo a la acción se desarrolle como conclusión y el conocimiento relativo a la efectividad de las acciones suele ser escaso, a pesar de que este tipo de conocimiento es el que se relaciona directamente con el objetivo principal de la educación ambiental que es la modificación efectiva de hábitos.

Los problemas ambientales ocupan cada vez mayor espacio en el área de la investigación científica y el conocimiento que tenemos de estos problemas y las formas efectivas de resolverlos aumenta día a día; por esta razón se considera de fundamental importancia, acortar el camino que recorre el conocimiento científico desde los investigadores hasta las aulas del bachillerato.

El uso directo de la literatura primaria (escrita por científicos y dirigida a un público de científicos) en el aula ha sido propuesto por varios autores (Brill *et al.*, 2004; Almeida y Liotta, 2005 y Ford, 2009) como una forma efectiva de acercar a los estudiantes al conocimiento científico más actual y de desarrollar en ellos habilidades de pensamiento científicas.

En este trabajo presentamos un primer acercamiento a la construcción de una estrategia de lectura y análisis de literatura primaria que permita a los estudiantes de bachillerato conocer algunas fuentes de información validada por la investigación científica y la forma en que se analizan los problemas ambientales desde la perspectiva científica con el fin de desarrollar habilidades que les permitan analizar de forma lógica los problemas, reflexionar y comparar diferentes alternativas de acción y evaluar el posible impacto de éstas en función de la evidencia y, de esta manera, fomentar la toma de decisiones efectivas para colaborar en la solución de los problemas ambientales y reducir el impacto que éstos tienen en la vida cotidiana.

Hacemos un análisis de las ventajas y desventajas del uso de literatura primaria

en el aula y proponemos algunos lineamientos para la selección de los artículos que puedan contribuir de la mejor manera a cumplir con los objetivos que se persiguen.

## II. Marco teórico

### **Educación ambiental**

La crisis ambiental en la que se encuentra nuestro planeta nos obliga a los seres humanos a replantear la forma en que nos relacionamos con el ambiente. La forma dominante de concebir el mundo en los últimos siglos presupone que la naturaleza sólo existe para satisfacer nuestras necesidades y que los seres humanos somos, de alguna manera, superiores e independientes del resto de las especies que habitan la Tierra (Ponting, 1992). Esta forma de pensar nos ha llevado a la destrucción de los ecosistemas y nos ha enfrentado con la realidad del planeta como un sistema en el que todas las especies son interdependientes y en el que la intervención humana para modificar el ambiente tiene consecuencias que pueden poner en riesgo su propia existencia.

La ciencia y la tecnología y la dirección en que se aplican los avances en estos campos han sido factores determinantes en la modificación de nuestro medio ambiente; han tenido como resultado grandes mejoras en las condiciones de vida de los seres humanos pero también han hecho del planeta un lugar cada vez más peligroso y hostil para todas las especies que lo habitan.

La población del planeta se incrementó más de cuatro veces entre los años 1900 y 2000 al pasar de 1,600 millones a más de 6,000 millones. Según datos del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la ONU (DESA) la población humana llegó a 7 mil millones de habitantes el 31 de octubre de 2011 (ONU, 2011). El aumento de la población tiene consecuencias que afectan de diversas formas el equilibrio ecológico del planeta.

Entre estas Carlos Amador (2009) identifica cuatro problemas fundamentales que evidentemente se encuentran relacionados:

- Energía. El consumo de energía medido en toneladas de barriles de petróleo creció 16 veces el siglo pasado. La cantidad de energía utilizada en el siglo XX ha sido mayor que la utilizada a lo largo de toda la historia de la especie y diez veces mayor que la utilizada en los mil años previos (McNeill, 2000).
- Agua. De acuerdo con McNeill (2000) el consumo de agua se incrementó en el siglo pasado nueve veces. De acuerdo con Oki *et al.*(2006) 2,400 millones de personas viven actualmente en áreas con limitaciones en la cantidad de agua disponible.
- Alimento. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) de 2006 a 2008 la alimentación del 13% de la población del planeta no permitía cubrir sus necesidades energéticas mínimas (estado de subnutrición) (FAO, 2011).
- Tolerancia climática. La actividad humana desecha hacia su entorno una serie de compuestos que modifican los patrones climáticos del planeta. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (IPCC por sus siglas en inglés) predice que para finales del siglo XXI es probable que la temperatura global en superficie sea 1.5 °C superior a la del periodo entre 1850 y 1900 (IPCC, 2013).

Desde hace varias décadas se han venido desarrollando una serie de esfuerzos que desde muy diversas perspectivas pretenden enfrentar y resolver los diversos problemas ambientales que las actividades humanas han generado. El análisis de la situación actual ha puesto de manifiesto la necesidad de enfrentar la problemática desde un punto de vista interdisciplinario.

Conocer y explicar la manera en que la sociedad humana se relaciona con su entorno físico o natural se considera fundamental para poder enfrentar una situación en la cual tienen mucho que decir casi cualquier disciplina social o natural como la filosofía, la sociología, la historia, la geografía, la física, la química, la biología, etc.

Según Fritjof Capra (1991, p. 28): “Cada vez se hace más evidente que los mayores problemas de nuestro tiempo no pueden comprenderse aisladamente. La amenaza de guerra nuclear, la devastación progresiva de nuestro entorno natural y la persistencia de la pobreza junto al progreso –incluso en los países más ricos– no son problemas aislados. Son diferentes aspectos de una misma crisis, que es esencialmente una crisis de percepción.

La crisis deriva del hecho de que la mayoría de nosotros, y en especial nuestras instituciones, seguimos los conceptos y valores de una visión del mundo ya caduca, una visión que es inadecuada para afrontar los problemas de un mundo como el nuestro, superpoblado e interdependiente. Pero al mismo tiempo, distintos movimientos sociales y numerosas redes alternativas están desarrollando una visión de la realidad que habrá de constituir la base de la tecnología, la economía y la sociedad futuras” .

La capacidad que tiene el hombre, a través de la ciencia y la tecnología, de modificar el ambiente representa parte importante de la solución a la crisis generalizada por la que pasa el planeta. Sin embargo, esta posibilidad sólo será real en la medida en que la participación informada y comprometida de todos los ciudadanos promueva soluciones que consideren los problemas ambientales desde una perspectiva integral que incluya las aportaciones científicas y tecnológicas pero no las considere separadas de los aspectos económicos, sociales e inclusive culturales y artísticos que determinan la naturaleza de la

relación del ser humano con su medio ambiente.

En este sentido, la educación y los diferentes sistemas educativos constituyen un factor fundamental que permitirá a los futuros ciudadanos comprender la importancia de entender al ser humano como parte de la naturaleza y crear una nueva forma de pensar el mundo.

La educación ambiental se ha desarrollado como un ámbito de la educación que tiene entre sus objetivos la conducción “hacia una sociedad más equitativa, más solidaria y también hacia modelos de desarrollo sostenible que fueran viables, no utópicos, capaces de implementación en el momento actual” y “se trata de ir alumbrando nuevos comportamientos, nuevos modos de vida que atiendan a las necesidades de todos, no a las de unos pocos” (Novo, 1996).

Con este objetivo en mente, es de gran importancia comprender que los problemas ambientales no son problemas ecológicos sino el resultado de la suma de factores sociales, económicos y políticos. En palabras de Víctor Manuel Toledo “mirar el pasado desde la óptica del metabolismo entre las sociedades y la naturaleza nos abre una panorámica para entender las caídas, colapsos, resistencias, recuperaciones, ciclos y otros patrones de largo aliento, a partir de los cuales podemos entender mejor la situación actual” (Di Donato, 2010, p. 7).

De esta manera, la educación ambiental se constituye en un nuevo campo de estudio transdisciplinario que surge como consecuencia de la necesidad de abordar la problemática ambiental de una manera integral en la que estén incluidos conocimientos provenientes de las ciencias sociales y las ciencias naturales.

Los dos sistemas educativos del bachillerato de la UNAM (CCH, 1996 y ENP,

1996) han reconocido la importancia de incluir la problemática ambiental en sus planes de estudio. Sin embargo, esa inclusión por sí sola no es suficiente para generar en los estudiantes conciencia de la forma en que las actividades humanas modifican y dañan los ecosistemas ni para asegurar que adquieran la capacidad de contribuir a resolver el problema planteando soluciones y adoptando comportamientos ambientalmente responsables en su vida cotidiana. Además de la inclusión del tema en los planes de estudio es necesario identificar el tipo de conocimientos y el enfoque del aprendizaje más adecuados para obtener respuestas efectivas para solucionar el problema.

### **Conocimiento ambiental**

De acuerdo con Sanera (1998) Los educadores interesados en la problemática ambiental promueven la educación ambiental de alto nivel con el objetivo de proporcionar a los estudiantes conocimiento sobre temas ambientales desde una variedad de perspectivas científicas, de tal manera que los estudiantes puedan tomar decisiones sobre estos asuntos de vital importancia. Sin embargo, existe una gran brecha entre el intento y el desempeño exitoso. Existen estudios (Kaiser *et al.* 2007; Makki *et al.* 2003 y Wicker, 1969) que demuestran que las actitudes no siempre se traducen en comportamientos apropiados.

La capacidad de análisis y comparación de diferentes formas de actuar ante un problema ambiental determinado que pueda conducir a la toma de decisiones y se traduzca en comportamientos ambientalmente responsables tiene como base la conciencia de la problemática, pero las actitudes positivas no son suficientes. El comportamiento responsable también depende del conocimiento ambiental de los estudiantes.

La inclusión de conocimientos ambientales en los programas es fundamental pero debe tener en cuenta que existen diferentes formas de conocimiento ambiental.

Frick *et. al.* (2004) identifican tres tipos de conocimiento que trabajan de manera conjunta para promover comportamientos responsables: “Antes de que una persona pueda actuar, debe tener comprensión de los estados naturales de los ecosistemas y los procesos que se llevan a cabo en ellos (**conocimiento del sistema**) y debe también conocer qué se puede hacer para remediar la situación (**conocimiento relativo a la acción**). Una tercera forma de conocimiento, el conocimiento acerca del beneficio (**efectividad**) de las acciones ambientalmente responsables, es particularmente relevante cuando una persona tiene que elegir de entre varios comportamientos posibles” (p. 1598).

El **conocimiento del sistema (tipo de conocimiento I)** significa la comprensión de como funcionan los sistemas, por ejemplo cómo es que algunos gases presentes en la atmósfera (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, vapor de agua, entre otros) provocan el aumento de la temperatura global debido a que son capaces de absorber energía en forma de radiación de cierta longitud de onda.

La comprensión de la forma en que los diversos procesos como la quema de combustibles fósiles o el metabolismo de las vacas genera gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> respectivamente) aumentando la concentración de estos en la atmósfera también es conocimiento del sistema.

Sin embargo este tipo de conocimiento, que es el más frecuentemente incluido en los programas de estudio, no es suficiente para modificar los hábitos de las personas; el **conocimiento relativo a la acción (tipo de conocimiento II)** también es fundamental. La mayor parte de los estudiantes de bachillerato comprenden que el CO<sub>2</sub> contribuye al Calentamiento Global y que los automóviles y las industrias son las principales fuentes de emisión de este contaminante, pero para ellos pueden no ser tan evidentes las formas en que pueden contribuir a la reducción de estas emisiones. Por ejemplo, el uso de transporte público, el uso de



bicicleta o caminar no son las únicas acciones que ayudan a disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>; también la reducción en el consumo de artículos producidos a grandes distancias del lugar de consumo y de productos que requieren grandes cantidades de energía para su producción, el consumo preferente de mercancías producidas localmente y la disminución en el consumo de productos de origen animal contribuyen a detener el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Frick y colaboradores sugieren que el **conocimiento relativo a la acción** está más estrechamente relacionado con los comportamientos ambientalmente responsables que el conocimiento del sistema.

Finalmente, para desarrollar mejores hábitos ambientales es necesario que los estudiantes comprendan que diferentes acciones tienen diferentes potenciales para ayudar a la conservación del ambiente, esto es **conocimiento de la efectividad (conocimiento tipo III)** de las opciones de comportamiento. Por ejemplo, el uso de un automóvil compacto con mantenimiento apropiado puede significar una mayor reducción en las emisiones de contaminantes que el uso menos frecuente de un automóvil de gran consumo de combustible.

Este último tipo de conocimiento está directamente relacionado con el comportamiento ambientalmente responsable exitoso.

Los tres tipos de conocimiento descritos en los párrafos previos, trabajan de manera conjunta; es evidente que el conocimiento del sistema es fundamental para tener conciencia de los problemas ambientales y una actitud positiva hacia el ambiente pero el comportamiento ambientalmente responsable depende también del conocimiento de formas de actuar alternativas y su efectividad.

### **Educación ambiental en el Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM**

El Plan de estudios actual del Colegio de Ciencias y Humanidades (1996) de la Universidad Nacional Autónoma de México está estructurado en torno a cuatro áreas del conocimiento:

- Matemáticas
- Ciencias Experimentales
- Histórico-Social
- Talleres de Lenguaje y Comunicación

Dentro del mapa curricular, el área de Ciencias Experimentales incluye como asignaturas obligatorias:

<b>Asignatura</b>	<b>Semestre</b>
Química I	I
Química II	II
Física I	III
Física II	IV
Biología I	III
Biología II	IV

En quinto y sexto semestre los estudiantes pueden elegir las asignaturas que cursarán de acuerdo a sus intereses profesionales, las opciones correspondientes al área de Ciencias Experimentales son las siguientes:

- Biología III y IV
- Física III y IV
- Química III y IV

En los programas de química se reconoce la importancia de que el estudiante adquiera "...conocimientos básicos que lo lleven a comprender y discriminar la información que diariamente se presenta con visos de científica; a comprender fenómenos naturales que ocurren en su entorno o en su propio organismo; a

elaborar explicaciones racionales de estos fenómenos; a valorar el desarrollo tecnológico y su uso en la vida diaria, así como a comprender y evaluar el impacto ambiental derivado de las relaciones hombre-ciencia y tecnología-naturaleza.” (p. 52)

Este último objetivo es compatible con la concepción de la educación como la enseñanza de una forma de pensamiento en la que participan tanto investigadores de diversas disciplinas, no solamente del área de las ciencias naturales, sino también de las ciencias sociales y las humanidades, así como también los grupos e individuos con diferentes puntos de vista que se ven afectados, en diversas formas, por los problemas ambientales y sus consecuencias debido a la zona del planeta que habitan, la actividad laboral en que se desarrollan o los grupos sociales a los que pertenecen.

De acuerdo con Gardner (2000) la concepción de la educación como la comprensión de las formas de pensamiento disciplinario es incompatible con la visión de la enseñanza como una lista de conocimientos y habilidades determinados.

La comprensión, entendida como “la habilidad de pensar y actuar con flexibilidad a partir de lo que uno sabe” (Perkins, 2005, p. 4), puede ser adquirida mediante una investigación rica, multifacética y profunda de unos pocos temas significativos.

De acuerdo con Perkins, el conocimiento, la habilidad y la comprensión son el material que se intercambia en educación, de manera que la concepción que se tenga de estos tres factores será determinante para que el proceso educativo sea considerado exitoso. Los conceptos de conocimiento y habilidad no son difíciles de definir e identificar: un estudiante demostraría conocimiento de la ciencia y sus procedimientos si, al ser interrogado al respecto, fuera capaz de enumerar

información adquirida al respecto, el mismo estudiante estaría demostrando la posesión de habilidades al resolver problemas de manera rutinaria.

A diferencia del conocimiento y la habilidad, el concepto de comprensión no es tan fácil de definir; la comprensión y la demostración de comprensión de los procedimientos científicos implican mucho más que el conocimiento y las habilidades; implica una capacidad de pensar y actuar de manera flexible; explicar, justificar, extrapolar, vincular y aplicar a partir de lo que sabe, en situaciones diferentes de las rutinarias. Esta concepción de la comprensión está basada en el término clave: *desempeños de comprensión* que, por definición, son actividades que van más allá de la memorización y la rutina y contrasta con la concepción representacional en la que la comprensión es algo que se posee, por ejemplo, algún tipo de representación, imagen o modelo mental.

Esta forma de concebir la educación coincide con la propuesta de los programas de química del CCH que están organizados en unidades en las que se propone como estrategia de aprendizaje el planteamiento a los estudiantes de preguntas centrales que permitan la comprensión de ciertos temas.

Aunque los temas incluidos en el programa corresponden a conceptos básicos de la química (mezcla, compuesto, elemento, átomo y molécula, reacción química y enlace), algunas de las preguntas centrales planteadas para favorecer su aprendizaje, pueden también ser útiles para la comprensión de la problemática ambiental. Por ejemplo:

- ¿Por qué el agua se contamina tan fácilmente?
- ¿Por qué es necesario preservar el suelo?
- ¿Debemos prescindir de los fertilizantes?
- ¿Cómo impacta al ambiente la producción de petróleo y petroquímicos en México?

- ¿Cuáles son los efectos socioeconómicos y ambientales de la producción y uso de polímeros en México?

La alfabetización científica, que se describe a continuación, permitirá a los futuros ciudadanos mejorar sus habilidades para obtener información validada por la investigación científica y su análisis de una manera crítica que favorezca la toma de mejores decisiones en situaciones que afectan la vida cotidiana y la mejora de la calidad de vida de la población.

### **Alfabetización científica**

De acuerdo con Norris y Philips (2009) la lectura y la escritura están inextricablemente unidas a la verdadera naturaleza y estructura de la ciencia, tanto como la observación, la medición y la experimentación. El lenguaje de la ciencia al nivel macro es argumentativo, en el sentido de que está estructurado para soportar conclusiones sobre la base de las razones y la evidencia. En el nivel micro, el lenguaje científico se caracteriza por desarrollar una variedad de formas de discurso que, en combinación, crean la estructura argumentativa que se observa a gran escala.

Esto significa que un estudiante que comprende los procedimientos científicos, debe ser capaz de leer un texto científico. Norris y Philips nos dicen que leer no es una simple concatenación de significados de palabras, leer no se caracteriza por una progresión lineal o acumulación de significados conforme se atraviesa el texto del principio al final y tampoco es la sola localización de información. Más que ello, la lectura depende de los conocimientos previos del lector, esto es, de significados que se encuentran fuera del texto, la lectura es dependiente de decisiones tomadas en el camino hasta las palabras individuales y requiere la construcción activa de nuevos significados, contextualización y la inferencia de las intenciones del autor. En el sentido fundamental que Norris y Philips asignan al término, la

alfabetización científica es indispensable para la comprensión de los procedimientos científicos y la aplicación de este enfoque podría producir cambios radicales en los cursos de ciencias y los resultados que estos producen y la aplicación de estos conocimientos para la resolución de problemas ambientales.

### Las preguntas como una habilidad de pensamiento científico

De acuerdo con Chamizo e Izquierdo (2007), “*saber formular preguntas y compartir dudas y soluciones para así, resolver un problema determinado es una competencia de pensamiento científico*”. Estos investigadores clasifican las preguntas de la forma que se presenta a continuación:

Tabla 2.1. Características de las preguntas.

PREGUNTAS CERRADAS	PREGUNTAS SEMICERRADAS	PREGUNTAS ABIERTAS
Se contestan en una o dos palabras y la respuesta está en una determinada página de un libro o un cuaderno de apuntes	La pregunta generalmente requiere una o dos oraciones para ser contestada. La respuesta no está en un lugar determinado de un libro o de un cuaderno de apuntes. Sin embargo, si se entiende el material que en ellos se presenta se está en posibilidad de responderla.	La pregunta requiere para ser contestada al menos, un párrafo. La respuesta no se encuentra en un solo libro.
La respuesta es correcta o equivocada	La respuesta puede ser correcta si está bien explicada, pero también puede estar equivocada.	La respuesta es correcta si está de acuerdo con la información mostrada en los libros y/o cuadernos de apuntes y además está bien explicada.
Generalmente empiezan con “Qué”, “Dónde” o “Cuándo”	Generalmente empieza con “Cómo”.	Generalmente empiezan con “Por qué” o “Qué pasaría si...”.

Para el desarrollo de la actividad científica las preguntas abiertas y la capacidad de formularlas son fundamentales.

### Literatura primaria

La literatura científica no es únicamente una forma de comunicar los resultados de una investigación; también es un reflejo del proceso científico que incluye los mecanismos aceptados y utilizados por la comunidad científica para recabar información, elegir y llevar a cabo experimentos, analizar los resultados de

esos experimentos y llegar a conclusiones válidas que puedan ser modificadas conforme se generen nuevos conocimientos.

La importancia de la literatura científica radica en que captura la naturaleza del razonamiento científico, por lo tanto es válido concebir la lectura como una forma de indagación que puede acercar a los estudiantes a la forma de hacer de los científicos.

De acuerdo con Goldman y Bisanz (2002) existen tres funciones principales para la comunicación de información científica en nuestra sociedad. La primera es la comunicación entre científicos; la segunda es diseminar o popularizar información generada por la comunidad científica; la tercera es proporcionar educación formal que prepare a las personas para entrar a la comunidad científica así como para tomar su lugar en la sociedad como ciudadanos científicamente letrados.

Como ejemplos de estos tres tipos de comunicación, Yarden (2009) elabora una tabla en la que se refiere a tres géneros: literatura científica primaria, versiones para reportajes periodísticos (PSL y RV por sus siglas en inglés) y libros de texto. En la tabla (Tabla No.1), Yarden compara los atributos de estos géneros y agrega la literatura primaria adaptada (APL).

De acuerdo con Yarden (Tabla 2.2), de izquierda a derecha encontraremos tipos de comunicación cada vez menos científicos. En la columna de la extrema izquierda encontraremos textos de tipo PSL que es el género que mejor representa la comunicación entre científicos: este tipo de texto es escrito por científicos para científicos; es, principalmente, un género argumentativo, incluye evidencia para sostener sus conclusiones (principalmente en las secciones de métodos y resultados), está construido de una manera canónica (resumen, introducción, métodos, resultados y discusión) y presenta los aspectos inciertos de

la ciencia.

En contraste, en la columna de la extrema derecha, los libros de texto están escritos por educadores y escritores científicos y dirigidos a estudiantes; están escritos en un género enunciativo que, frecuentemente, incluye hechos y mínima evidencia para sostener sus conclusiones.

Tabla 2. 2. Traducción de la tabla tomada de Yarden (2009)

	<b>PSL</b>	<b>APL</b>	<b>JRV</b>	<b>Libros de texto</b>
Autores	Científicos (Yore et al. 2004)	Educadores de ciencia y científicos (Norris et al. 2009a; Yarden et al. 2001)	Periodistas científicos (Nwogu 1991)	Educadores de ciencia y científicos
Audiencia	Científicos (Yore et al. 2004)	Estudiantes (Ciencia a nivel bachillerato) (Yarden et al. 2001)	Público en general (Nwogu 1991)	Estudiantes (Desde primaria hasta licenciatura)
Género	Argumentativo (Jimenez-Alexandre y Federico-Agraso 2009; Suppe 1998)	Argumentativo (Norris et al. 2009a)	Variable (Expositivo, narrativo, argumentativo) (Jimenez-Alexandre y Federico-Agraso 2009; Penney et al. 2003)	Expositivo (Myers 1992; Norris y Philips 2008; Penney et al. 2003)
Contenido	Evidencia para respaldar conclusiones (Suppe 1998)	Evidencia para respaldar conclusiones (Falk y Yarden 2009; Yarden et al. 2001)	Hechos con mínima evidencia (Jimenez-Alexandre y Federico-Agraso 2009)	Hechos (Myers 1992; Newton et al. 2002; Penney et al. 2003)
Estructura	Canónica (Suppe 1998; Swales 2001)	Canónica (Baram-Tsabari y Yarden 2005; Yarden et al. 2001)	No-canónica (Nwogu 1991)	No-canónica, refleja la estructura del conocimiento de la disciplina (Myers 1992)
Presentación de la ciencia	Incierta (Suppe 1998)	Incierta (Falk y Yarden 2009; Yarden et al. 2001)	Grado de certeza variable (Penney et al. 2003)	Cierta (Penney et al. 2003)

Los estudiantes de bachillerato (en particular los de los dos últimos semestres, que están a punto de ingresar a la licenciatura) han llevado a lo largo de su formación académica diversos cursos que deberían permitirles obtener un nivel aceptable de comprensión de textos pertenecientes a la categoría de literatura primaria en el área ambiental. Sin embargo, es evidente que existen varios obstáculos para el uso de la PSL en el aula; entre los más obvios se encuentra el



hecho de que, al estar escrita por científicos y para científicos, contiene jerga y lenguaje técnico específico del área de investigación de que se trate lo cual puede hacerla difícil de entender para estudiantes y profesores.

Como una opción al empleo directo de literatura primaria en las aulas se ha propuesto (Norris *et al.*, 2009) el uso de literatura primaria adaptada (APL, por sus siglas en inglés) que consiste en artículos de la PSL que han sido adaptados, frecuentemente, por escritores científicos y revisados por científicos. La APL, según Norris y colaboradores, se distingue de la literatura secundaria en que mantiene la estructura del artículo primario sobre el que está basado pero utiliza un lenguaje simplificado y puede omitir ciertos detalles técnicos.

Sin embargo, si el objetivo del uso de literatura primaria es que los estudiantes conozcan el lenguaje de los científicos, desde nuestro punto de vista la adaptación de la literatura primaria resultaría en un contrasentido. La jerga científica y el lenguaje técnico están diseñados para designar significados precisos que no podrían ser comunicados de otra manera.

Es evidente que los estudiantes de bachillerato encontrarán en un artículo de este tipo términos de difícil comprensión y detalles técnicos, sin embargo la búsqueda de significado de las expresiones del lenguaje científico y la capacidad para descartar detalles técnicos irrelevantes son habilidades que se busca desarrollar en los estudiantes porque, en el área ambiental, el desarrollo de este tipo de habilidades les permitirá mejorar su comprensión de los problemas, la relevancia que tiene la ínter y multidisciplina en esta área y su capacidad para aplicar estos conocimientos a situaciones de la vida cotidiana para la toma de mejores decisiones.

Otro obstáculo puede ser que, en la actualidad, la mayor parte de la literatura científica se encuentra escrita en inglés, idioma que difícilmente es dominado por

los estudiantes de bachillerato, por esta razón, proponemos como única adaptación de la literatura primaria la traducción de los artículos llevada a cabo por científicos.

### **Artículos de investigación y revisiones o panorámicas**

Entre la literatura primaria, se pueden distinguir dos tipos de artículos: los artículos de investigación o artículos primarios y las revisiones y visiones panorámicas (en inglés reviews y overviews) o artículos secundarios. Los artículos de investigación contienen los datos y conclusiones originales de los investigadores que participaron en los experimentos; contienen detalles acerca de la forma en que se hicieron los experimentos. Este tipo de artículos también pueden contener direcciones electrónicas con “datos suplementarios” en donde se pueden encontrar, de manera detallada, los métodos utilizados por los autores.

Por otro lado, los artículos de revisión presentan un panorama amplio de un área científica o de un tema, resumiendo los datos y conclusiones de muchas investigaciones. A menudo, este tipo de artículos presenta una mayor cantidad de antecedentes que los artículos de investigación.

Si analizamos estos dos tipos de artículos, encontramos que cumplen con las siguientes características de la literatura primaria, según la clasificación de Yarden:

- Autores: los autores son científicos.
- Audiencia: el artículo está dirigido a un público de científicos.
- Género: principalmente argumentativo.
- Contenido: el artículo contiene evidencia que permite respaldar conclusiones.
- Estructura: canónica.
- Presentación de la ciencia: incierta.

A continuación presentamos una comparación de estos dos tipos de artículos:

Artículos de investigación	Artículos de revisión
Los autores reportan los resultados de su propia investigación.	Los autores no llevaron a cabo los trabajos de investigación presentados.
La mayoría de los artículos de investigación presentan un breve resumen de investigaciones previas pero se enfocan principalmente en un trabajo específico.	Los autores presentan un compendio de resultados de las investigaciones de otros autores.
El título es altamente descriptivo y enfocado en los detalles del trabajo.	El título del artículo cubre un área muy amplia.
Generalmente incluyen secciones de métodos y resultados.	No contienen secciones de métodos ni de resultados
Los autores inician muy a menudo enunciados con "Investigamos..." o "Encontramos..."	Los autores inician enunciados con "En estudios previos se encontró..." o "Revisamos la literatura..."
El artículo y el resumen incluyen gran cantidad de números específicos.	En este tipo de artículos es menos probable encontrar datos específicos.

De acuerdo con este análisis nosotros proponemos el uso de artículos de revisión que permitirán a los estudiantes de bachillerato acercarse a la naturaleza del trabajo científico y que, además les brindarán la oportunidad de conocer un panorama amplio de temas relacionados con el ambiente.

### **Estrategias de lectura de literatura primaria**

En la literatura se pueden encontrar diversas estrategias propuestas para abordar la lectura de literatura primaria que varían en función de los objetivos que se persiguen, el nivel educativo para el que se proponen y el grado de conocimientos disciplinares que se pretende que los estudiantes adquieran. A continuación resumimos algunas de ellas.

McNeal (1996) propone una estrategia general de lectura de literatura primaria que tiene como objetivo resaltar las ventajas de este tipo de fuentes de información en estudiantes de licenciatura. La estrategia consta de las siguientes etapas:

1. Revisión superficial de un artículo que permita a los estudiantes tener un panorama general por medio de una lectura rápida.
2. Discusión en clase del vocabulario con el fin de asegurarse que los estudiantes comprenden los términos incluidos en el artículo.
3. Los estudiantes vuelven a leer el artículo con el fin de llegar a la comprensión del tema y discuten el contenido en una segunda sesión.
4. En una tercera discusión, posterior al análisis y reflexión individual los estudiantes relacionan el artículo con temas incluidos en el programa de la asignatura que se está estudiando.

Norris y colaboradores (2009b) utilizan literatura primaria adaptada al final de un curso introductorio de cálculo diferencial. La estrategia incluye,

1. Explicación por parte del maestro de conceptos necesarios para la comprensión del tema.
2. Los estudiantes dedican una sesión de 90 minutos a explorar el material preparado por los maestros que consiste en una página web en la que se puede leer un artículo de literatura primaria adaptado y que además contiene una serie de vínculos que permiten revisar comentarios adicionales sobre diagramas, tablas y variables incluidos en el artículo.
3. Los estudiantes llevan a cabo una serie de tareas (por ejemplo, interpretación de gráficas o cálculo de probabilidades) que permiten a los maestros evaluar el nivel de comprensión de los estudiantes de los temas abordados y el interés que manifiestan en diversos aspectos relacionados con el tema estudiado.

Gallagher y Adams (2002) proponen el uso de literatura primaria en un curso básico de química orgánica en licenciatura. La estrategia consiste en la redacción de un trabajo escrito en el que se resume, analiza y evalúa un

artículo de literatura primaria. Para poder cumplir con la tarea, los estudiantes llevan a cabo las siguientes actividades:

1. Seleccionar un artículo que trate o esté relacionado con los temas incluidos en el programa de la asignatura.
2. Escribir un reporte que demuestre comprensión del artículo. Durante el desarrollo de este reporte, los estudiantes tienen la posibilidad de consultar estudiantes de posgrado asignados para asistir al curso.

Finalmente, Fikes (1989) propone la literatura primaria como material casi exclusivo para el estudio de tres tipos de reacciones en un curso de nivel licenciatura de química orgánica avanzada. Su estrategia incluye:

1. Lectura en clase de un artículo relacionado con el área de investigación.
2. Respuesta fuera del aula de un cuestionario diseñado para llamar la atención de los estudiantes hacia los temas que serán discutidos.
3. Discusiones en clase sobre el tema que permitirán a los estudiantes abordar con confianza la lectura de un artículo asignado de manera individual para presentar un seminario de 10 a 15 minutos sobre el área de investigación.

### III. Metodología

Por medio de este trabajo se pretende, por un lado, proponer una estrategia de lectura, probada varias veces en otros contextos, que permita a los estudiantes conocer las características de una de las formas de comunicación más empleadas por los miembros de la comunidad científica y abordar la lectura de artículos de literatura primaria con confianza en la búsqueda de soluciones efectivas a la problemática ambiental. Por otro lado, también se pretende hacer una evaluación cualitativa, a partir de cuestionarios y discusiones, de los beneficios del uso de literatura primaria para la comprensión de los problemas ambientales en los cursos de ciencias de nivel bachillerato y las dificultades a las que se enfrentará el maestro durante el proceso.

#### **Artículos seleccionados**

Para llevar a cabo este análisis se eligieron tres artículos de diferentes características relacionados con diversos aspectos de la problemática ambiental que se presentan en el Anexo II y que serán descritos a continuación.

#### **1. Efecto Invernadero y Cambio Climático Global (Ruiz-Santoyo *et al.*, 1994)**

Este artículo fue tomado del capítulo “Química y Medio Ambiente” del libro “La química en la sociedad” (Rafael Fernández, 1994) editado por la Facultad de Química de la UNAM como un Proyecto de Integración de la Docencia y la Investigación que *“permite aprovechar los beneficios del trabajo de sus investigadores para lograr una excelente enseñanza de las ciencias en el nivel del bachillerato”* (p. vii).

El Dr. Rafael Fernández Flores presenta este libro como *“una antología pensada en primera instancia para apoyar los cursos de formación de profesores de química para el bachillerato, pero que puede servir también como lectura complementaria de repaso y autoaprendizaje para estudiantes de enseñanza*

*media superior y aún de los primeros semestres profesionales” (p. viii).*

De acuerdo con esta descripción, este libro puede ser clasificado, según la caracterización de Yarden (2009) como un libro de texto y se incluye en la estrategia, como un referente que permite comparar los resultados obtenidos de la lectura de literatura primaria con los obtenidos de la lectura de un artículo tomado de un libro de texto.

- Autores: Profesores de ciencia y científicos
- Audiencia: Profesores y estudiantes de bachillerato
- Género: declarativo
- Contenido: hechos con mínima evidencia
- Estructura: no canónica
- Presentación de la ciencia: cierta

Este libro es recomendado en el programa de estudio de química del CCH y de él se eligió como primera lectura para presentar a los estudiantes el artículo “Efecto Invernadero y Cambio Climático Global” (p. 31) con el objetivo de tener un punto de comparación de la estrategia de lectura entre los artículos de literatura primaria y este artículo tomado de un libro de texto.

Las autoras de este artículo son las doctoras Ma. Esther Ruiz Santoyo, Sylvie Turpie Marion y Mabel Vaca Mier, investigadoras en el área de química atmosférica y en él presentan un breve resumen de alrededor de una página de la manera en que los cambios en la composición atmosférica, resultado de actividades antropogénicas pueden afectar el clima. Los autores definen el efecto invernadero, mencionan una serie de gases que tienen este efecto en la atmósfera y algunas de las actividades antropogénicas que generan este tipo de compuestos, presentan gráficas en las que se puede observar la correlación que existe entre la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera y los cambios

en la temperatura con respecto al tiempo en dos diferentes escalas.

Adicionalmente se mencionan algunos otros procesos que afectan el balance de radiación y podrían considerarse también causas del Cambio Climático.

Las otras dos lecturas presentadas a los estudiantes fueron tomadas de números recientes de *Nature*, revista fundada en 1869 y considerada en la actualidad una de las revistas científicas interdisciplinarias internacionales de mayor impacto.

De acuerdo con la clasificación de Frick y colaboradores (2004) el conocimiento ambiental contenido en este artículo sería del tipo I, conocimiento del sistema.

## **2. Un planeta cambiante. ¿Cómo reacciona la vida en la Tierra ante el cambio climático? (Smol, 2012)**

Este es un artículo publicado en marzo del 2012 en la revista *Nature* en una sección llamada *Outlook* en la que “*cinco científicos destacados explican cómo la investigación en sus especialidades -cáncer, cambio climático, células madre, oceanografía y biología sintética- han cambiado nuestras vidas*”.

De acuerdo con el análisis de Yarden, este artículo tiene las siguientes características:

- Autor: Científico
- Audiencia: Científicos
- Género: argumentativo
- Contenido: evidencia para sustentar conclusiones
- Estructura: canónica
- Presentación de la ciencia: incierta

Este artículo cumple con todos los criterios para ser considerado literatura



primaria. El autor, John P. Smol, es un destacado investigador del Departamento de Biología de *Queen's University*, titular de la Cátedra de Investigación en Cambio Ambiental de Canadá y editor del *Journal of Paleolimnology y Environmental Reviews*.

En este artículo, de aproximadamente cuatro páginas, Smol describe el trabajo de su grupo de investigación en el ártico, algunos métodos utilizados para hacer estudios ambientales, los parámetros que son considerados en su investigación y las modificaciones ambientales que han observado desde 1983.

El investigador también hace un análisis de los conocimientos generados por la investigación de diversos científicos que han permitido establecer el cambio climático debido a las actividades antropogénicas y de los métodos y resultados de algunas de estas investigaciones y algunas de las controversias que han suscitado entre los científicos.

Smol presenta al lector un recuento de diversos cambios ambientales relacionados con la química, la física y la biología que permiten hacer predicciones sobre las consecuencias del Cambio Climático en diversos ecosistemas. Una característica que se debe destacar de este artículo es el análisis que el autor hace de cómo los resultados obtenidos con un método de análisis pueden generar diferentes interpretaciones y servir para predecir diferentes resultados, así como la importancia en la investigación científica de respaldar con referencias válidas el análisis propuesto.

El autor concluye el artículo explicando que la investigación ambiental permite hacer predicciones con diferente grado de certidumbre y propone nuevas preguntas para investigaciones futuras.

El conocimiento ambiental contenido en este artículo, de acuerdo con la clasificación de Frick y colaboradores sería del tipo I; conocimiento del sistema.

### **3. Clasificación de los plásticos como residuos peligrosos (Rochman *et al.* , 2013)**

Este es un artículo publicado en febrero del 2013 en la revista Nature en la sección de comentarios.

De acuerdo con el análisis de Yarden, este artículo tiene las siguientes características:

- Autor: Científicos
- Audiencia: Científicos
- Género: argumentativo
- Contenido: evidencia para sustentar conclusiones
- Estructura: canónica
- Presentación de la ciencia: incierta

En este artículo los autores son un grupo de investigadores de Universidades de Estados Unidos, Reino Unido y Japón interesados principalmente en la ecología y daños a la salud de diferentes contaminantes.

En este artículo, Rochman y colaboradores proponen que la clasificación de los plásticos como residuos peligrosos puede funcionar como una forma de resolver el problema de contaminación generado por estos materiales.

Los autores mencionan la cantidad de residuos plásticos que se producen en el planeta anualmente, hacen un recuento de diversas investigaciones que han permitido comprender las formas en las que los residuos de diversos polímeros pueden dañar la salud de los seres vivos y los ecosistemas y analizan la forma en

que las convenciones internacionales y regulaciones aplicadas a las industrias han permitido reducir y controlar la producción de diversos contaminantes.

Finalmente, los investigadores analizan los pros y contras de algunas alternativas que se han propuesto para resolver el problema de la contaminación por plásticos y la importancia de considerar aspectos políticos y económicos, además de científicos y tecnológicos, para generar soluciones realistas y efectivas. Esta propuesta está respaldada con información validada por la investigación científica.

El conocimiento ambiental incluido en este artículo, de acuerdo con la clasificación de Frick y colaboradores, es de los tipos I, II y III: conocimiento del sistema, conocimiento relativo a la acción y conocimiento acerca del beneficio.

#### **Población**

La estrategia está dirigida a estudiantes del último año del Colegio de Ciencias y Humanidades de la UNAM durante los cursos de las asignaturas Química III y IV.

La serie de actividades propuestas en la estrategia se llevó a cabo durante el semestre 2013-1 con los grupos 626 y 639, cada uno de 24 estudiantes de quinto semestre de bachillerato del turno matutino del Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur.

Como se mencionó en la sección de marco teórico, los estudiantes que se inscriben al quinto semestre eligen las asignaturas que cursarán durante su último año en el Colegio de acuerdo con sus intereses profesionales, de manera que, aunque todos los estudiantes deben elegir asignaturas del área de las ciencias experimentales, los grupos están constituidos por estudiantes con intereses similares.

En el caso del grupo 626, los integrantes son mayoritariamente alumnos interesados en licenciaturas del área de las ciencias experimentales, en particular las carreras de Medicina y los diferentes programas de la Facultad de Química; en tanto que los integrantes del grupo 639 son mayoritariamente alumnos interesados en el área de las ciencias sociales y las humanidades. Sin embargo, durante el análisis de las respuestas obtenidas para los tres cuestionarios no se observan diferencias relevantes entre los dos grupos.

Las respuestas de los estudiantes a los tres cuestionarios se analizaron y clasificaron según el tipo de pregunta y la información que se espera obtener a partir de ella.

#### **Estrategia de lectura**

La estrategia que aquí se presenta está basada en una propuesta de Ann Woodhull-McNeal (1989). En este trabajo Woodhull-McNeal describe una estrategia para un curso universitario de introducción a la ciencia en el que se utiliza la literatura primaria como una forma de acercar a los estudiantes a la indagación científica, esta propuesta fue modificada para adaptarla a la estrategia de lectura de artículos de revisión.

#### **La propuesta presentada aquí consiste en siete actividades:**

##### *1. Presentación.*

Antes de iniciar las lecturas la maestra explica a los estudiantes la importancia de la comunicación escrita en la actividad científica, en particular el papel fundamental y las características de los artículos científicos, haciendo énfasis en el tema ambiental como un asunto que concierne a todos los habitantes del planeta y la relevancia de las fuentes primarias como fuente de información

confiable que permite conocer y comprender la complejidad de la problemática ambiental para poder tomar las mejores decisiones al respecto.

El maestro presenta a los estudiantes la página electrónica de la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM y les explica que desde ésta tienen la posibilidad de realizar búsquedas remotas de información en bases de datos de todas las áreas del conocimiento que les permiten acceder a literatura producida por investigadores y dirigida a investigadores.

Es importante generar en los estudiantes interés en el tipo de literatura que se les va a presentar y confianza en su capacidad para comprender con cierta profundidad artículos de este nivel basada en los conocimientos que han adquirido a lo largo de su formación académica, en particular las asignaturas de ciencias que han cursado durante los dos años previos en el bachillerato.

#### *II. Vista previa del artículo.*

A cada uno de los estudiantes se les entrega una copia del artículo, se les pide que revisen el título, los encabezados y las figuras; se les explica que esta actividad les servirá para tener una visión panorámica de lo que van a leer, que todavía no están llevando a cabo la lectura y tampoco tratando de comprender. Después de unos pocos minutos para familiarizarse con el artículo se les pide que completen el siguiente cuestionario:

##### Cuestionario A

1. ¿Cuál es el tema del artículo?
2. ¿Por qué es relevante?
3. ¿Cuál es el área de estudio?
4. ¿Cuál es la pregunta de investigación?

El objetivo de este cuestionario es que los estudiantes comprendan que se puede obtener una gran cantidad de información de un artículo científico antes de leerlo completo y que esta vista rápida permite al lector decidir si el tema es de su interés, así como recordar conceptos útiles aprendidos durante sus cursos de ciencias e información respecto al tema con la que han tenido contacto en la vida cotidiana.

### *III. Vocabulario.*

Después de la primera revisión superficial del artículo se les pide a los estudiantes que, como tarea en casa realicen una primer lectura para conocer el vocabulario que utiliza el autor. Se les pide que subrayen cada palabra o frase que no comprendan y que elaboren tres listas en las que clasifiquen las palabras subrayadas como:

1. Palabras que para comprender es suficiente buscar en el diccionario.
2. Palabras o frases cuyo significado depende del contexto.
3. Palabras o frases que corresponden a conceptos claves del artículo.

### *IV. Discusión del vocabulario.*

En la segunda sesión en el aula se analizan de manera grupal las tres listas que los estudiantes elaboraron. La discusión sobre el vocabulario debe durar tanto tiempo como sea necesario para aclarar todas las dudas de los estudiantes.

El maestro debe ayudar a los estudiantes a identificar y comparar los métodos que utilizaron para comprender el significado de las palabras señaladas: búsqueda en diccionarios y enciclopedias, notas y libros de texto de cursos previos, motores de búsqueda electrónica y diccionarios y enciclopedias en línea, etc.

El maestro también debe ayudar a los estudiantes a concluir que en artículos de este tipo encontrarán algunos términos técnicos o conceptos específicos del área

que podrían buscar en diccionarios, libros o páginas electrónicas especializadas pero que, en algunos casos, la comprensión del término no es esencial para comprender el artículo. Los estudiantes también deben aprender a distinguir términos o conceptos que es necesario comprender a profundidad para comprender el artículo y entender que vale la pena invertir tiempo y esfuerzo para llegar a este nivel de comprensión.

El maestro debe estar preparado para señalar e incluir en la discusión términos relevantes que los estudiantes hayan pasado por alto y debe tener preparado material (sinónimos, definiciones, explicaciones, imágenes y diagramas) que facilite la comprensión de estos términos. Sin embargo, en este punto, el maestro también debe recordar que está explicando el vocabulario, no buscando la comprensión del artículo y debe evitar que los estudiantes se pierdan en los detalles.

#### *V. Lectura de comprensión.*

La segunda tarea a realizar en casa es leer el artículo con el objetivo de comprenderlo a fondo y que después completen el segundo cuestionario:

#### Cuestionario B

1. ¿Cuál es el tema del artículo?
2. ¿Por qué es relevante?
3. ¿Cuál es el área de estudio?
4. ¿Cuál es la pregunta de investigación?
5. ¿Cuál es el contexto?
6. Analiza y explica cada una de las figuras (gráficas, tablas, imágenes).
7. Haz una lista de los estudios o investigaciones previos que se mencionan en el artículo.

Las preguntas de este cuestionario tienen como objetivo favorecer en los estudiantes la reflexión sobre:

1. la relevancia del artículo por su contribución a la comprensión, análisis y planteamiento de soluciones de un problema que nos afecta a todos y,
2. la complejidad de la problemática ambiental.

#### VI. Discusión de la lectura.

En una segunda sesión grupal se analiza el artículo con el fin de llegar a la comprensión del mismo; además de discutir el cuestionario B se pide a los estudiantes que hagan comentarios respecto a la relevancia del tema, datos o estudios que les hayan llamado la atención, opiniones personales respecto al tema y dificultad de la lectura.

#### VII. Reflexión y análisis.

Como última actividad se les pide a los estudiantes que respondan, como tercera tarea a realizar en casa, el tercer cuestionario:

##### Cuestionario C

1. ¿Cuáles son las conclusiones del autor?
2. ¿Cuáles son tus conclusiones?
3. ¿Qué otras preguntas podrías hacer con respecto al tema?
4. ¿Hay aspectos, perspectivas, consideraciones relevantes que no se analizaron?
5. ¿Sobre qué temas te gustaría leer artículos de este tipo?
6. Elabora tres preguntas para evaluar la comprensión que tienen tus compañeros del artículo.
7. Anota tus comentarios sobre la actividad.



#### IV. Resultados

Las respuestas de los estudiantes a los tres cuestionarios se analizaron y clasificaron según el tipo de pregunta y la información que se espera obtener a partir de ella. A continuación se presentan en tablas los diferentes tipos de respuestas a cada pregunta y algunos ejemplos de cada uno de ellos.

#### **Cuestionarios A y B**

El cuestionario A se presenta al estudiante como una herramienta que permite obtener información de un artículo en una primera hojeada, aún antes de leerlo. Las preguntas de este cuestionario se repiten en el cuestionario B y no se observan diferencias relevantes entre las respuestas dadas en estos dos momentos, por esta razón se presentan los resultados en un sólo análisis.

**Pregunta 1. ¿Cuál es el tema del artículo?**

El objetivo de la pregunta es ayudar a los estudiantes a identificar el tema en que se centra el artículo y el objetivo de la investigación que presenta. Se busca también favorecer la reflexión del estudiante que le ayude a distinguir el tema principal de la información que el autor presenta para explicar el objetivo de la investigación y apoyar sus conclusiones.

Tabla No. 1. ¿Cuál es el tema del artículo?

<b>Artículo</b>	<b>Tema</b>	<b>Frecuencia</b>
El y cambio climático global	Efecto Invernadero y cambio climático global	19
Un planeta cambiante	La forma en que los seres vivos son afectados por el cambio climático	19
Clasificación de los plásticos como residuos peligrosos	Efectos de los plásticos en el ambiente y la salud	14
	La importancia de la clasificación de los plásticos para su adecuado tratamiento	4
	Residuos plásticos peligrosos	2
	Posibles soluciones al problema de la contaminación por plásticos	2
	Producción de plásticos	1

En las respuestas se observa que para los dos primeros artículos todos los estudiantes identifican el tema de forma apropiada. En el caso del tercer artículo varios estudiantes dieron dos respuestas y sólo dos de ellos lo identifican apropiadamente: como una posible solución al problema de la contaminación por plásticos, Esta dificultad para identificar el tema puede deberse a la complejidad del artículo.

**Pregunta 2. ¿Por qué es relevante?**

El objetivo de la pregunta es ayudar a los estudiantes a identificar los temas que aborda el artículo para que puedan relacionarlos con problemas ambientales.

Tabla No. 2. ¿Por qué es relevante?

Tipo de respuesta	Ejemplos	Artículo/ Frecuencia		
		1	2	3
Actitudinal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los seres humanos estamos acabando con el planeta</li> <li>• Este problema nos afecta a todos</li> <li>• No tenemos conciencia de los problemas</li> <li>• Debemos tomar medidas par solucionar este problema</li> </ul>	36	36	13
Conocimientos sobre la forma en que funciona un sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algunos gases como el CO<sub>2</sub> aceleran el cambio climático</li> <li>• Las actividades humanas son las causantes de extinciones de la flora y fauna</li> <li>• Los plásticos tardan mucho en degradarse</li> </ul>	28	29	32
Conocimientos relativos a la acción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debemos evitar contaminar o crear gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub></li> <li>• la deforestación y tala de árboles afecta a los seres vivos</li> <li>• muchas cosas que llegamos a ingerir vienen en productos tóxicos</li> </ul>	4	2	14
Conocimientos relativos a la efectividad de las acciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los intentos por degradar los plásticos tienen más consecuencias</li> <li>• La mejor manera de evitar estas consecuencias sería evitar el uso desmedido de plásticos</li> </ul>	0	0	2

Para todos los artículos, los estudiantes proponen varias razones por las que el artículo es relevante. En el caso de los dos primeros artículos la mayoría (95%) son enunciados con contenido actitudinal que reflejan una respuesta emocional a los temas ambientales pero que por sí solas no contribuyen a la solución de los problemas.

Es interesante observar también que, en el caso de los dos primeros artículos, una gran cantidad de respuestas mencionan información que por sí misma no constituye una razón para considerar el tema relevante, por ejemplo: “los plásticos

tardan mucho tiempo en degradarse”.

### Pregunta 3. ¿Cuál es el área de estudio?

El objetivo de esta pregunta es que la discusión en clase de las respuestas permita la reflexión sobre la importancia del trabajo multi e interdisciplinario en el área ambiental.

Tabla No. 3. ¿Cuál es el área de estudio?

Disciplina	Artículo/Frecuencia		
	1	2	3
Ecología	11	16	19
Química	17	15	14
Biología	11	18	13
Meteorología	8	8	2
Estadística	2	4	6
Geografía	3	7	1
Medicina	1	5	5
Bioquímica	1	3	3
Física	2	3	0
Medio Ambiente	2	1	2
Fenología	0	4	0
<b>Economía</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4</b>
Geofísica	3	1	0
Etología	0	2	1
Ciencias de la Tierra	1	1	1
Geología	1	0	1
Hidrobiología	0	1	1
<b>Historia</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
Paleontología	1	0	0
Fisiología	0	1	0
Fisicoquímica	0	1	0
Oceanografía	0	0	1
Veterinaria	0	0	1
Zootecnia	0	0	1

Como se puede observar en la tabla, son muy pocos los estudiantes (ninguno para el primer artículo, 1 para el segundo y cinco para el tercero) que consideran que las ciencias sociales tienen una participación en el estudio de los problemas ambientales tratados en los artículos.

**Pregunta 4. ¿Cuál es la pregunta de investigación?**

El término pregunta de investigación es nuevo para los estudiantes de bachillerato, la intención de la pregunta es que reflexionen sobre la investigación científica y la forma en que los científicos producen conocimiento al establecer relaciones entre causas y consecuencias de los problemas ambientales.

Tabla No. 4. ¿Cuál es la pregunta de investigación?

Artículo	Pregunta	Frecuencia	Clasificación
Efecto invernadero y cambio climático global	¿Cuáles son las causas del Cambio Climático?	12	Cerrada
	¿Cuáles son las consecuencias del Efecto Invernadero?	5	Cerrada
	¿Cuáles son las causas del Efecto Invernadero?	3	Cerrada
	¿Cuáles son las consecuencias del Cambio Climático?	3	Cerrada
	¿Cómo se relaciona la composición atmosférica con el clima?	3	Semicerrada
	¿Cómo se relaciona la cantidad de CO <sub>2</sub> en la atmósfera con el Cambio Climático?	2	Semicerrada
	¿Cómo ayuda el hombre al Cambio Climático?	1	Semicerrada
	¿Cómo se puede contribuir para disminuir el problema?	1	Semicerrada
Un planeta cambiante	¿Cuáles serán los efectos del Cambio Climático en el futuro?	6	Cerrada
	¿Cuáles son las consecuencias del Cambio Climático en la biología del planeta?	6	Cerrada
	¿Cuáles son las consecuencias del Cambio Climático?	2	Cerrada
	¿Cuáles son las causas del Cambio Climático?	1	Cerrada
	¿Cuáles son los factores que han tomado en cuenta los científicos para llevar a cabo las investigaciones?	1	Cerrada
	¿Cómo reacciona la vida en la Tierra ante el Cambio Climático?	12	Semicerrada
Clasificación de los plásticos como residuos peligrosos	¿Cuáles son las consecuencias del uso de los plásticos?	13	Cerrada
	¿Son los plásticos dañinos para la salud?	3	Cerrada
	¿Cuáles son las políticas para el manejo de plásticos?	1	Cerrada
	¿Se puede llegar a un tratado con la mayoría de los países para que en lugar de reciclar se clasifiquen los plásticos?	1	Cerrada
	¿Se pueden elaborar polímeros que no contaminen y sean peligrosos?	1	Cerrada
	¿Cómo se puede evitar la contaminación por plásticos?	5	Semicerrada
	¿Cómo se relaciona este problema con la economía?	1	Semicerrada
	¿Por qué es conveniente clasificar los plásticos?	7	Abierta

Para el primer artículo, el 58% (11/19) de los estudiantes plantean más de una pregunta, lo cual podría ser un indicador de la dificultad para entender la pregunta

a la que el artículo pretende dar respuesta. Además de esto, podemos observar que, de acuerdo con la clasificación de Chamizo e Izquierdo (2007) las primeras cuatro preguntas más frecuentemente (77%) planteadas estarían en la categoría de cerradas, en tanto que las siguientes cuatro (23%) estarían clasificadas como semicerradas. Ninguna de ellas es, de acuerdo con Chamizo e Izquierdo, una pregunta de investigación apropiada.

Para el segundo artículo también se encuentra un número considerable de respuestas dobles (47%) y, como en el caso del primer artículo, todas las preguntas planteadas caen en la categoría de cerradas (57%) o semicerradas (43%). Adicionalmente, es importante considerar que la única pregunta semicerrada planteada fue tomada de manera literal del título del artículo.

Las preguntas planteadas para el tercer artículo son también mayoritariamente cerradas (59%), sin embargo, aquí hay una pregunta abierta con una frecuencia considerable (22%). Este último tipo de preguntas no fueron planteadas para ninguno de los otros dos artículos.



**Pregunta 5. ¿Cuál es el contexto?**

El objetivo de esta pregunta es favorecer la reflexión sobre la importancia de la problemática ambiental y la forma en que este tipo de problemas nos afectan en la vida cotidiana.

Se espera también que las respuestas ayuden a evaluar la comprensión que tienen los estudiantes de los problemas ambientales como multifactoriales, determinados por situaciones políticas, económicas y sociales tanto como físicas, químicas y biológicas y que para su solución requieren del trabajo conjunto de todas estas disciplinas.

Tabla No. 5. ¿Cuál es el contexto? Clasificación en función del tema.

<b>Artículo</b>	<b>Respuesta</b>	<b>Frecuencia</b>
Efecto invernadero y cambio climático global	Explica o resume el artículo	7
	El artículo fue publicado en 1994 y ahora se observan los cambios que entonces se pronosticaban	6
	Es un problema que nos afecta a todos y del que los seres humanos somos responsables	3
	Describe el momento histórico	2
	Investigación científica	1
Un planeta cambiante	Explica o resume el artículo	9
	El artículo es actual	4
	Describe el momento histórico	3
	Investigación científica	4
Clasificación de los plásticos como residuos peligrosos	Explica o resume el artículo	13
	El artículo es actual	1
	Es un problema que nos afecta a todos y del que los seres humanos somos responsables	2
	Describe el momento histórico	2
	Investigación científica	1

La mayoría de las respuestas a esta pregunta para los tres artículos se refieren al contenido del artículo (37%, 45% y 68% respectivamente). Muy pocos estudiantes (11%, 16% y 11% respectivamente) mencionan el momento histórico. Estas respuestas no permiten hacer la evaluación esperada; es probable que la pregunta sea demasiado ambigua.

Las respuestas a esta pregunta también pueden ser de utilidad para evaluar el tipo de conocimiento que tienen los estudiantes sobre el tema, considerando que para la generación y aplicación de soluciones efectivas a los problemas ambientales es necesario que las actitudes positivas trabajen de manera conjunta con conocimientos de los tres tipos.

Tabla No. 6. ¿Cuál es el contexto? Clasificación en función de actitudes y conocimientos que reflejan.

Tipo de respuesta	Ejemplos	Artículo/ Frecuencia		
		1	2	3
Actitudinal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Este problema nos afecta a todos</li> <li>• La gente no se preocupa por los efectos del Cambio Climático</li> <li>• Siempre se ponen por encima los intereses económicos</li> </ul>	5	4	7
Conocimientos sobre la forma en que funciona un sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las actividades humanas son la principal causa del Cambio Climático</li> <li>• El Cambio Climático provoca el derretimiento de los casquetes polares</li> <li>• El uso de plásticos afecta la salud humana</li> </ul>	33	37	24
Conocimientos relativos a la acción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se tiene la tecnología para poder estudiar una manera más sustentable de desechar los plásticos y sustituirlos</li> <li>• Se ponen por encima los intereses económicos a los intereses ecológicos</li> </ul>	0	0	7
Conocimientos relativos a la efectividad de las acciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tratamos de reciclar pero no es suficiente para la cantidad de basura generada</li> </ul>	0	0	1

Las respuestas, organizadas de esta manera, reflejan, como en el caso de la

pregunta 2 de este cuestionario, la respuesta emocional que generan los temas ambientales y la relevancia que dan los estudiantes a los conocimientos sobre la forma en que funciona el sistema.

En estas respuestas, nuevamente encontramos una mayor variedad para el artículo 3, en la que se incluyen respuestas relacionadas con conocimientos relativos a la acción. El porcentaje de respuestas de este tipo no es muy alto (18%) pero su aparición puede considerarse un indicio del tipo de artículos cuya lectura ayudará a desarrollar el tipo de conocimientos que pueden contribuir a la solución de los problemas ambientales.

**Pregunta 6. Analiza y explica cada una de las figuras.**

Las figuras incluidas en un artículo tienen diferentes objetivos y se puede obtener de ellas diferente tipo de información, es por esto que evaluar la capacidad que tienen los estudiantes para analizar, interpretar, obtener información y llegar a conclusiones a partir de ellas es de gran ayuda para determinar la forma en que se elijan y analicen en el aula artículos de literatura primaria.

Tabla No. 7. Analiza y explica cada una de las figuras

Artículo	Respuesta	Frecuencia
Efecto invernadero y cambio climático global	Descripciones irrelevantes o vagas, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>Nos muestra como hace 160,000 años la temperatura era muy alta</li> <li>Podemos ver una alteración frecuente en la temperatura</li> </ul>	8
	Llega a conclusiones sin argumentar: <ul style="list-style-type: none"> <li>Hace algunos años la temperatura de la Tierra con respecto a la concentración de CO<sub>2</sub> permanecía constante... y ahora los cambios de temperatura son sumamente drásticos</li> <li>Las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la Tierra en los últimos 160,000 años ha tenido un incremento y es por ello que tenemos un aumento de temperatura de la Tierra</li> </ul>	11
	Hay una relación entre la concentración de CO <sub>2</sub> y la temperatura	6
	La temperatura aumenta por el aumento de CO <sub>2</sub>	6
	La temperatura y el CO <sub>2</sub> aumentan con el tiempo	4
	La temperatura aumenta con el tiempo	3
	El CO <sub>2</sub> aumenta con el tiempo	2
	Un planeta cambiante	Describe las diatomeas y su utilidad
El estanque desaparece en verano		9
Cambios observados en el ambiente		8
Desequilibrio ambiental		1
Presencia de gases de efecto invernadero		1
Clasificación de los plásticos como residuos peligrosos	Daño a los animales	19
	Cantidad de plásticos que se producen y no se desechan apropiadamente	16
	Plástico producido en 2012 y el que se producirá en 2050	4
	Plásticos que se reciclan	2
	Ya no existe biodiversidad	1

Cada uno de los artículos presenta figuras de diferente tipo, sin embargo, las

respuestas de los estudiantes permiten identificar el tipo de figuras que representa mayor dificultad para su interpretación.

El primer artículo contiene 2 gráficas que representan las variaciones temporales de la concentración de dióxido de carbono y la temperatura. Estas dos figuras fueron las que mayor dificultad representaron para su interpretación; los análisis de los estudiantes son, en su mayoría (63%) vagos o incorrectos.

En el tercer artículo la única figura que incluye datos representa la cantidad de plástico producido en 2012 y la cantidad que se calcula que se producirá en el 2050. Esta figura, relativamente sencilla, únicamente fue correctamente interpretada por 4 estudiantes (21%). Las descripciones de los estudiantes de esta figura y las dos presentadas en el artículo 1, nos hablan de la dificultad que tienen los estudiantes para interpretar gráficas, factor que deberá ser considerado en el futuro al elegir los artículos que serán presentados a los estudiantes.

El resto de las figuras del tercer artículo y todas las incluidas en el segundo artículo no requieren mayores habilidades para su interpretación.

**Pregunta 7. Haz una lista de los estudios o investigaciones previos que se mencionan en el artículo.**

La habilidad de argumentación es una parte muy importante del trabajo científico; se espera que el análisis de los estudiantes en este sentido les permita establecer la diferencia entre conocimientos establecidos por investigaciones previas y las conclusiones que propone el autor a partir de éstas.

Tabla No. 8. Investigaciones previas mencionadas por el autor.

Artículo	Investigación	Frecuencia
Efecto invernadero y cambio climático global	Datos históricos de temperatura y concentración de CO <sub>2</sub>	12
Un planeta cambiante	Investigaciones de John P. Smol en el Ártico	11
	Determinación de la concentración de CO <sub>2</sub> en el observatorio de Mauna Loa	11
	Simulaciones de Wang y Overland de la extensión de la capa de hielo en el Ártico	5
	Investigación de Camille Parmesan sobre las poblaciones de la mariposa Checkerspot en el oeste de Estados Unidos	3
Clasificación de los plásticos como residuos peligrosos	Mundo Plástico	11
	Los residuos plásticos pueden dañar la vida salvaje	8
	Plásticos potencialmente tóxicos	1
	Los plásticos pueden absorber contaminantes	2
	Reporte de la Convención sobre diversidad biológica en Montreal	3
	Algunos organismos consumen partículas micrométricas provenientes de telas sintéticas	4
	Los microplásticos ingeridos e inhalados llegan al interior de las células y tejidos en donde pueden causar daño	5
	Algunos aditivos del PVC pueden acumularse en la sangre	2
	Algunos monómeros e ingredientes del PVC pueden ser carcinógenicos	2
	Estudio no publicado sobre contaminantes prioritarios	8

La cantidad de estudiantes que reconocen las diversas investigaciones previas identificadas por el autor fluctúa entre 63% y 5%. No se observa una diferencia

relevante entre las respuestas para los diferentes artículos.

En la tabla No.9 se puede ver la cantidad de respuestas dadas por los estudiantes que no son señaladas por los autores como investigaciones previas. En todos los casos el número es muy alto.

Tabla No. 9. Número de investigaciones previas identificadas por el estudiante pero no por el autor.

<b>Artículo</b>	<b>Frecuencia</b>
Efecto invernadero y cambio climático global	60
Un planeta cambiante	47
Clasificación de los plásticos como residuos peligrosos	24

El número más alto se presenta en el caso del artículo 1, esto se puede deber a que, al tratarse de un artículo tomado de un libro de texto, las referencias son mínimas y la estructura dificulta a los estudiantes distinguir entre conceptos, datos, opiniones y conclusiones del autor o de otros autores.

En el caso del artículo 2, el número de temas tomados erróneamente como investigaciones previas disminuye respecto al primero pero también se puede considerar alto. Esto puede deberse, al menos en parte, a que la revisión que hace el autor es muy extensa y no siempre establece referencias de manera apropiada.

El artículo 3 es el que obtuvo menos temas identificados erróneamente como investigaciones previas. Esto podría deberse a que este es el artículo mejor estructurado en este sentido.

Por otro lado, también habría que considerar la posibilidad de que la disminución de respuestas erróneas del primer al segundo artículo y al tercero pueda deberse, al menos en parte, a que los alumnos fueron progresando con las lecturas hacia una mejor comprensión de lo que es una investigación apropiadamente referenciada.



## Vocabulario

Las tres listas de vocabulario elaboradas por los estudiantes son de utilidad para evaluar el nivel de vocabulario con el que cuentan tanto en lo que se refiere a vocabulario general como vocabulario técnico de las disciplinas del área de las ciencias experimentales y del área ambiental para así poder establecer las dificultades a este respecto que pueden tener en el análisis de la literatura primaria.

Esta información será de utilidad para establecer la forma en que debe prepararse el maestro para incluir, durante la discusión del vocabulario, explicaciones sobre fuentes de información (diccionarios, enciclopedias, diccionarios técnicos, libros de texto, etc) tanto físicas como electrónicas para ayudar a mejorar las habilidades de investigación de los estudiantes. En las tablas se presentan las más frecuentes.

Tabla No. 11. Palabras que para comprender es suficiente buscar en el diccionario.

<b>Artículo</b>	<b>Palabras</b>	<b>Frecuencia</b>
Efecto invernadero y cambio climático global	Antropogénicas	14
	Traza	9
	Radiación	8
Un planeta cambiante	Somero, diatomea	11
	Vadeado	9
	Fenología	8
Clasificación de los plásticos como residuos peligrosos	Cabilderos	9
	Mejillones	8
	Marismas	7

Tabla No. 12. Palabras o frases cuyo significado depende del contexto.

<b>Artículo</b>	<b>Palabras</b>	<b>Frecuencia</b>
Efecto invernadero y cambio climático global	Balance de radiación	6
	Gases traza, precipitación global	5
	Irrigación	4
Un planeta cambiante	Vadeado	5
	Radioisótopo	4
	Efímero	3
Clasificación de los plásticos como residuos peligrosos	Pontones flotantes, contaminantes prioritarios, retroalimentación, bifenilo	3
	Marismas, carcinogénico, concentración	2
	Inertes, intravenosos, sedimentos, juego, actuar, generación de empleos, transferencia, partículas micrométricas, aditivos, compuestos orgánicos persistentes, daño catastrófico, residuos peligrosos	1

En esta tabla se observa una disminución progresiva del número de palabras seleccionadas por los estudiantes. Esto ocurre, a pesar de que los textos del primer al tercero son cada vez más complejos puesto que cada uno incluye conceptos de un número mayor de disciplinas que el anterior. Estos números podrían considerarse indicativo de que a lo largo de la estrategia los estudiantes han adquirido habilidades para manejar el vocabulario que se les presenta en las lecturas.

Tabla No. 13. Palabras que corresponden a conceptos clave del artículo.

<b>Artículo</b>	<b>Palabras</b>	<b>Frecuencia</b>
Efecto invernadero y cambio climático global	Gases traza, cambio climático, balance de radiación	6
	Emisiones antropogénicas, composición atmosférica, efecto invernadero	5
	Concentración de CO <sub>2</sub> en la atmósfera	4
Un planeta cambiante	Cambio Climático	7
	Fenología	6
	Adaptación, cambio climático antropogénico	5
Clasificación de los plásticos como residuos peligrosos	Reciclaje	7
	Plásticos contaminantes, plásticos dañinos	5
	Polímeros contaminantes, contaminantes prioritarios, clasificación	4

### Cuestionario C

En tanto que los cuestionarios A y B están diseñados para ayudar al estudiante a analizar la información incluida en los artículos, el cuestionario C está diseñado para favorecer la reflexión y comprensión del problema ambiental que se presenta y el razonamiento científico como un método para llegar a conclusiones y generar nuevo conocimiento.

#### Pregunta 1. ¿Cuáles son las conclusiones del autor?

Una primera clasificación de las respuestas a esta pregunta se elaboró con el objetivo de identificar y evaluar la capacidad de los estudiantes para distinguir el conocimiento establecido por investigaciones previas de las conclusiones a las que llega el autor a través de su análisis.

Tabla No. 14. ¿Cuáles son las conclusiones del autor? Identificación de conocimientos previos y conclusiones.

Respuestas	Artículo/ Frecuencia		
	1	2	3
Conclusiones o aseveraciones del autor, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los cambios en la composición atmosférica pueden alterar el clima</li> <li>• Los cambios que se esperan para el futuro dependen en gran medida de las acciones que llevemos a cabo</li> <li>• El problema de los plásticos se reduciría si se clasificaran como residuos peligrosos</li> </ul>	14	37	29
Conclusiones del estudiante, basadas en información proporcionada por el autor, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los seres humanos somos causantes del Cambio Climático</li> <li>• Gran parte del Cambio Climático se debe a los seres humanos</li> <li>• Los plásticos dañan la salud de los animales</li> </ul>	10	4	6
Información, no conclusión que proporciona el autor, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay otras opiniones, teorías respecto al Cambio Climático</li> <li>• El autor rebate las posibles objeciones a su propuesta</li> </ul>	6	0	1
Interpretaciones incorrectas o confusas, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• La temperatura global de la Tierra tiene como único origen su correlación con las concentraciones de CO<sub>2</sub></li> <li>• Los gases de Efecto Invernadero son responsables de la reacción de todos los seres vivos del planeta</li> <li>• Reciclar los plásticos peligrosos ayudaría a descontaminar algunos hábitats</li> </ul>	1	3	5

En esta tabla se puede ver que el porcentaje de estudiantes que identifican apropiadamente las conclusiones del autor es significativamente mayor para los artículos 2 y 3 (84% y 71% respectivamente) que para el artículo 1 (45%). Adicionalmente se observa que la cantidad de respuestas en las que se presenta información proporcionada por el autor pero que no constituye una conclusión es considerablemente mayor para el artículo 1 (32%) en comparación con los artículos 2 y 3 (9% y 15% respectivamente). Estos datos podrían deberse a la estructura de los artículos 2 y 3 que permite identificar con relativa facilidad las conclusiones del autor.

## Pregunta 2. ¿Cuáles son tus conclusiones?

Mediante el análisis de las respuestas a esta pregunta se pretende evaluar las habilidades de los estudiantes para obtener conclusiones a partir de la información que se les presenta y su capacidad para relacionar las lecturas con los conocimientos previos que han adquirido durante su formación académica y sus experiencias personales al enfrentar problemas ambientales.

Tabla No. 16. ¿Cuáles son tus conclusiones? Clasificación de acuerdo al tipo de información que incluyen.

Respuestas	Artículo/ Frecuencia		
	1	2	3
Conclusiones posibles a partir de la información incluida en el artículo, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los cambios en el ambiente son producto del impacto del hombre</li> <li>• Los seres humanos somos responsables de las alteraciones en el ambiente y el ecosistema</li> <li>• Los seres humanos somos culpables de la contaminación por plásticos</li> </ul>	36	18	16
Conclusiones que no es posible obtener a partir de la información del artículo, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Los cambios en el ambiente se deben a la cantidad de basura generada</li> <li>• Que la región Ártica se caliente primero significa que el peligro es mayor</li> <li>• Entre todos podríamos separar y aprovechar algún tipo de plástico</li> </ul>	3	3	9
Afirmaciones que reflejan emociones, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• No hacemos nada para contrarrestar este problema</li> <li>• Las personas conocen el problema pero no concientizan</li> </ul>	9	18	15

Entre las respuestas a esta pregunta encontramos, en todos los casos, conclusiones semejantes a las del autor, aunque el lenguaje utilizado permite suponer que los estudiantes comprenden y se apropian de las conclusiones.

**Pregunta 3. ¿Qué otras preguntas podrías hacer respecto al tema?**

Se esperaba que las respuestas a esta pregunta permitieran evaluar el tipo de conocimiento que interesa a los estudiantes, sin embargo, la pregunta parece ser demasiado vaga y las respuestas no permiten obtener información.

**Pregunta 4. ¿Hay aspectos, perspectivas, consideraciones relevantes que no se analizaron?**

Las respuestas a esta pregunta se clasificaron en función de las actitudes y el tipo de conocimientos que generan las lecturas.

Tabla No. 19. ¿Hay aspectos, perspectivas, consideraciones relevantes que no se analizaron?

Tipo de respuesta	Ejemplos	Artículo/ Frecuencia		
		1	2	3
Actitudinal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál sería el máximo que aguantaría el planeta?</li> <li>• Hacer hincapié en la falta de conciencia</li> </ul>	0	3	1
Conocimientos sobre la forma en que funciona un sistema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo está compuesta la atmósfera?</li> <li>• Cambio Climático en diversos ecosistemas</li> <li>• ¿En qué lugares del mundo hay más producción de toneladas de plástico?</li> </ul>	18	9	4
Conocimientos relativos a la acción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustitución por energías más económicas y menos contaminantes</li> <li>• ¿Cuál sería la forma de remediar estos cambios?</li> <li>• ¿Qué materiales podrían sustituir al plástico?</li> </ul>	7	3	6
Conocimientos relativos a la efectividad de las acciones	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis comparativo en el cual cueste más regular la industria o quitar las repercusiones ocasionadas por estos desechos</li> </ul>	0	0	1

En las respuestas a esta pregunta encontramos una mayoría relacionada con conocimientos sobre la forma en que funciona el sistema para los artículos 1 y 2 (72% y 60% respectivamente), en tanto que, para el artículo 3 la mayoría (50%)

son respuestas relacionadas con conocimientos relativos a la acción. En este último artículo también se encuentra la única respuesta que incluye conocimientos relativos a la efectividad de las acciones. Estos datos podrían apuntar a cuál es el tipo de lecturas que se deben incluir en una estrategia que tiene el objetivo de fomentar comportamientos ambientalmente responsables.

**Pregunta 5. ¿Sobre qué temas te gustaría leer artículos de este tipo?**

La pregunta tiene como objetivo determinar el interés generado por la lectura de los artículos y conocer los intereses de los estudiantes para proponer otros artículos que se puedan analizar mediante esta estrategia.



Tabla No. 20. ¿Sobre qué temas te gustaría leer artículos de este tipo? Clasificación según el tema.

Artículo	Temas	Frecuencia
Efecto invernadero y cambio climático global	Temas ambientales, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Extinción de especies</li> <li>• Desarrollo sustentable</li> </ul>	19
	Disciplinas, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medicina</li> <li>• Química de los alimentos</li> </ul>	13
	Temas de ciencias exactas, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Células madre</li> <li>• Colisionador de partículas</li> </ul>	4
	Temas de ciencias sociales: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Problema social contemporáneo</li> </ul>	1
Un planeta cambiante	Temas ambientales, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en las diferentes regiones del mundo</li> <li>• Situación actual del agua</li> </ul>	19
	Disciplinas, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medicina</li> <li>• Bioquímica</li> </ul>	10
	Temas de ciencias exactas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fósiles</li> <li>• Evolución</li> </ul>	2
	Temas de ciencias sociales: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Implicaciones antropológicas</li> <li>• Reformas legales</li> </ul>	4
Clasificación de los plásticos como residuos peligrosos	Temas ambientales, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medidas para reducir la contaminación ambiental y su eficacia</li> <li>• Usos de energías renovables</li> </ul>	21
	Disciplinas, por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medicina</li> <li>• Psicología</li> </ul>	8
	Temas de ciencias exactas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medicamentos</li> <li>• El Universo</li> </ul>	2
	Temas de ciencias sociales: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Política respecto a la ecología</li> <li>• Globalización</li> </ul>	2

Las respuestas de los estudiantes están, en su mayor parte, relacionadas con temas ambientales (51%, 54% y 63% respectivamente) y la variedad de las respuestas parece indicar que los estudiantes se interesan por el área.

Las respuestas relacionadas con disciplinas reflejan los intereses académicos de los grupos que participaron en la estrategia: la mayoría de estas respuestas incluyen a la medicina y áreas afines y son respuestas proporcionadas por miembros del grupo que ya eligió esta carrera.

Destaca también el hecho de que un pequeño grupo de estudiantes (11%, 6% y 6%) menciona temas específicos del área de las ciencias experimentales como las células madre o el colisionador de partículas. Estos datos tendrían que ser considerados al desarrollar una estrategia que pretende acercar a los estudiantes a la comprensión de la actividad científica a través del análisis de ejemplos de investigaciones.

Por último, cabe destacar que un pequeño grupo de estudiantes (3%, 11% y 6% respectivamente) sugiere entre los temas algunos del área de las ciencias sociales relacionados con problemas ambientales, por ejemplo: políticas con respecto a la ecología o reformas legales.

### Pregunta 6. Elabora tres preguntas para evaluar la comprensión que tienen tus compañeros del tema

Como ya se ha mencionado, saber formular preguntas es una habilidad del pensamiento científico; mediante esta pregunta se pretende evaluar esta habilidad y la capacidad de los estudiantes para comprender los problemas ambientales puesto que, de acuerdo con Chamizo e izquierdo (2007) *“las preguntas concretan los problemas”*.

Tabla No. 21. Elabora tres preguntas para evaluar la comprensión que tienen tus compañeros del tema. Clasificación según el tipo de pregunta.

Tipo de pregunta	Ejemplos	Artículo/ Frecuencia		
		1	2	3
Preguntas cerradas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué es el Efecto Invernadero?</li> <li>• ¿Qué son las diatomeas?</li> <li>• ¿Qué cantidad de residuos se reciclan?</li> </ul>	15	23	19
Preguntas semicerradas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo afecta el CO<sub>2</sub> la temperatura ambiental?</li> <li>• ¿Cómo impacta el Cambio Climático a la agricultura?</li> <li>• ¿Cómo afecta el mal desecho de los plásticos a los seres vivos?</li> </ul>	13	22	26
Preguntas abiertas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Por qué sigue teniendo relevancia el artículo?</li> <li>• ¿Por qué son tan útiles las diatomeas?</li> <li>• ¿Por qué hay que enfocarse primero en los materiales más peligrosos?</li> </ul>	6	7	13

Las preguntas planteadas por los estudiantes para el primer artículo son en, en su mayoría, cerradas (62%), en tanto que, para el segundo artículo hay prácticamente la misma cantidad de cerradas y abiertas (44% y 42%). Para el tercer artículo la mayoría son semicerradas (45%). A pesar de que las preguntas abiertas constituyen el mayor porcentaje para todos los artículos (10%, 13% y 22% respectivamente) se puede considerar un buen indicio que la proporción de preguntas de este tipo aumenta con cada artículo y es el doble para el tercero que

para el primero.

Las preguntas abiertas son consideradas las más apropiadas para el desarrollo de la actividad científica y el aumento en su planteamiento que se observa a lo largo de la estrategia puede deberse a que los estudiantes están adquiriendo la habilidad para plantear mejores preguntas o a que el tercer artículo es el más efectivo para desarrollar esta habilidad.

### Pregunta 7. Anota tus comentarios sobre la actividad

Los comentarios de los estudiantes son de utilidad para identificar el tipo de actitudes que los artículos generan respecto a los problemas ambientales. La evaluación del desarrollo de actitudes positivas es de gran relevancia puesto que la conciencia ambiental es la base del comportamiento ambiental responsable.

Tabla No. 22. Comentarios que reflejan actitudes.

Comentarios	Artículo/ Frecuencia		
	1	2	3
Sin comentarios	6	2	0
La lectura nos hace reflexionar sobre nuestras acciones	4	3	5
Es un tema que nos involucra a todos	2	3	3
Me gustó, me interesó	10	7	9
Me permite conocer los efectos del daño ambiental	2	1	5

Todos los estudiantes que respondieron a esta pregunta se refirieron al estudio de los problemas ambientales con comentarios positivos. El porcentaje de estudiantes que no hicieron comentarios para el primer artículo fue el más alto (32%), en cambio, todos hicieron comentarios sobre el tercer artículo, lo cual puede ser considerado una buena respuesta a la estrategia, considerando el grado de complejidad de este artículo por la cantidad de disciplinas que aborda y el tipo de conocimientos que incluye.

Los comentarios de los estudiantes que se refieren a cada uno de los artículos nos permite evaluar las diferencias que encuentran los estudiantes entre los artículos presentados y el tipo de artículos que es más atractivo para ellos.

Tabla No. 23. Comentarios sobre los artículos.

<b>Evaluación positiva</b>	<b>F</b>	<b>Evaluación negativa</b>	<b>F</b>
<b>Efecto invernadero y cambio climático global</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sólo una cuartilla contiene mucha información</li> <li>• Llama la atención al lector para que después busque más información</li> </ul>	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Me hubiera gustado que fuera más actual</li> <li>• La brevedad del artículo no permite analizar con precisión</li> </ul>	2
<b>Un planeta cambiante</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puedes saber más sobre los temas que uno no considera relevantes, los cuales son más importantes que lo que creemos</li> <li>• Es un artículo reciente</li> <li>• Está sustentado con estudios realizados por especialistas</li> <li>• Aunque es un poco más complicado, es más informativo y no deja cabos sueltos</li> <li>• Tiene mejor estructura</li> </ul>	7		0
<b>Clasificación de los plásticos como residuos peligrosos</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es el más cercano a nuestro entorno</li> <li>• Tiene un lenguaje fluido y fácil de comprender</li> <li>• Presenta diversos puntos de vista</li> <li>• Abarca temas políticos y económicos</li> <li>• Puedes buscar si ya hay algo pensado o que se empiece a llevar a cabo para remediar</li> </ul>	6		0

Entre los comentarios que se refieren de manera específica a cada artículo encontramos que, únicamente el primer artículo genera evaluaciones negativas y que, en general, los comentarios sobre los artículos 2 y 3 son más amplios y analíticos. Estos datos constituyen una respuesta alentadora al uso de literatura primaria.

Finalmente, se espera que el análisis de los comentarios nos permitan analizar el interés de los estudiantes en los problemas ambientales, el interés que genera la literatura primaria y la evaluación que hacen ellos mismos de las dificultades que encontraron en el curso de la estrategia.

Tabla No. 24. Comentarios sobre la actividad.

<b>Evaluación positiva</b>	<b>Frecuencia</b>
Efecto invernadero y cambio climático global	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nos dimos cuenta de cuanta información podíamos relacionar con la clase y con la vida cotidiana</li> <li>• Los cuestionarios nos hicieron comprender mejor el artículo</li> <li>• La ciencia es de alguna manera la única que nos ayuda a resolver problemas</li> </ul>	3
Un planeta cambiante	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nos ayuda a comprender mejor la lectura</li> <li>• Nos ayuda a enriquecer nuestro léxico</li> <li>• Nos podemos informar sobre lo que está pasando</li> <li>• Me motiva para expresarles a mis amigos, familiares, profesores y más... mi punto de vista</li> <li>• Ayuda a resaltar las diferencias entre ambos [artículos 1 y 2]</li> </ul>	10
Clasificación de los plásticos como residuos peligrosos	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nos hace comprender mejor el artículo</li> <li>• Provoca en los alumnos interés por cuidar el planeta</li> <li>• Nos dan ganas de querer combatirlo [el problema] con conocimientos ya un poco más estructurados</li> </ul>	5

A pesar de que fueron pocos los estudiantes que se refirieron a la estrategia de forma específica, todos los comentarios fueron positivos, en especial para el artículo 2.

## V. Discusión y análisis de resultados

El análisis de los documentos generados y las observaciones en el aula durante el desarrollo de la estrategia serán utilizados para evaluar de manera cualitativa el uso de literatura primaria en los cursos de Química III y IV en el bachillerato.

### 1. Conocimientos ambientales

1.1. La importancia del **trabajo multidisciplinario** para la comprensión de la problemática ambiental.

Como se mencionó en el marco teórico, los programas del CCH están estructurados en función de áreas de conocimiento; si bien entre los objetivos de los programas de química se establece la relevancia de la multidisciplina en el área ambiental, el enfoque disciplinario no siempre es el más adecuado para la comprensión de los problemas ambientales.

Al analizar los artículos presentados podemos encontrar diferencias importantes en la forma en que se presenta la información: en el caso del primer artículo, tomado de un libro de texto, es relativamente fácil para los estudiantes identificar el tema (reactivo 1B), que está planteado de manera muy clara en el título.

En el caso del segundo artículo, a pesar de la extensión, también es fácil para los estudiantes identificar el tema, que está planteado también en el título y que se desarrolla claramente a lo largo del artículo.

Para los estudiantes, es más difícil identificar el tema en el tercer artículo; la razón es que este artículo es más complejo. Tanto el primer como el segundo artículo presentan conocimientos del tipo I: sobre la forma en que funciona el sistema y están claramente centrados en una disciplina: la química en el caso del primer



artículo y la biología en el caso del segundo. El tercer artículo, en cambio, presenta conocimientos de tipo I, II y III y es un trabajo multidisciplinario en el que trabajan de manera conjunta química, biología, economía y política.

Cuando se les pide a los estudiantes identificar el área de estudio (reactivo 3B), la mayoría incluyen numerosas disciplinas del área de las ciencias experimentales pero únicamente en el caso del tercer artículo unos pocos estudiantes incluyen disciplinas del área de las ciencias sociales.

Esta dificultad también es evidente cuando se les pide que identifiquen la pregunta de investigación (reactivo 4B); tanto en el caso del artículo 1 como del artículo 2 los estudiantes plantean preguntas que refieren a información del tipo I y que pueden ser respondidas desde disciplinas del área de las ciencias experimentales. En el caso del artículo 3 las preguntas planteadas también se refieren a información del tipo I pero las respuestas a estas preguntas requieren conocimientos tanto del área de las ciencias experimentales como del área de las ciencias sociales.

Las respuestas al reactivo sobre el contexto (reactivo 5A) nos permiten comprender que algunos estudiantes consideran importante la fecha de publicación de los artículos, probablemente porque tienen una concepción de la ciencia que incluye un avance lineal con el paso del tiempo, pero muy pocos de ellos hablan del momento histórico y la relación de los procesos sociales, políticos, económicos e industriales con los problemas ambientales.

En las respuestas al reactivo 4C observamos la misma tendencia general a pasar por alto los aspectos sociales, económicos y políticos de los problemas ambientales; solamente el artículo 3 genera algunas respuestas relacionadas con las ciencias sociales.

Cuando se les pregunta a los estudiantes sobre los temas sobre los que les gustaría leer (reactivo 5C) encontramos una gran variedad de temas ambientales y varios temas relacionados con disciplinas del área de las ciencias experimentales pero sólo algunos de ellos mencionan temas relacionados con disciplinas del área de las ciencias sociales.

1.2. Las **actitudes** positivas y propositivas de los estudiantes como base indispensable para la adopción de comportamientos ambientalmente responsables que colaboren de manera efectiva en la solución de problemas ambientales.

El análisis del material generado (preguntas 2B, 5B, 8B, 1C, 2C y 7C) nos permite identificar entre las actitudes ambientales el predominio de creencias y emociones: la gran mayoría de los estudiantes reflejan en sus comentarios sentimientos de culpa, desesperanza e impotencia además de creencias como que *“la gente no tiene conciencia”* de los problemas ambientales, que los intereses económicos *“siempre”* prevalecen y que los seres humanos *“estamos acabando con el planeta”*. En comparación, parece que las respuestas que reflejan intenciones y compromiso con comportamientos ambientales son muy pocas.

Las respuestas a la pregunta 5C revelan un gran interés por los temas ambientales y por obtener conocimientos relacionados con estos, lo que podría indicar que la educación ambiental en los cursos y niveles previos ha tenido éxito generando conciencia sobre la gravedad de los problemas ambientales y la responsabilidad de los seres humanos pero no han sido muy exitosos generando conocimientos que permitan desarrollar comportamientos comprometidos con el ambiente.

1.3. Los tipos de **conocimiento ambiental** que los estudiantes adquieren a través de las lecturas y la importancia del trabajo conjunto de los tres tipos para fomentar la participación en la toma de decisiones y adopción de comportamientos que ayuden de manera efectiva en la solución de problemas ambientales.

El análisis de las respuestas a los reactivos 2B, 5B, 8B, 1C, 2C, 5C y 8C revelan que la mayoría de los estudiantes comprende la forma en que las actividades humanas afectan el ambiente puesto que las respuestas que se refieren a conocimientos de tipo I son numerosas para los tres artículos. En comparación, las respuestas que reflejan conocimientos tipo II, relativos a la acción son menos y las respuestas que reflejan conocimientos tipo III, relativos a la efectividad de las acciones son casi inexistentes.

Al comparar las respuestas generadas por cada lectura, es necesario considerar que tanto el artículo 1 como el 2 se centran en el conocimiento de tipo I y esto se refleja en las respuestas de los estudiantes. El artículo 3, que tiene como tema una propuesta para reducir de manera efectiva el daño ambiental provocado por el consumo de plásticos es, por mucho, el que mejor genera conocimientos relativos a la acción y el único que genera respuestas relativas a la efectividad de las acciones. Sin embargo, el número de respuestas que mencionan conocimientos de este tipo es muy reducido.

Estas respuestas sugieren que los artículos del tipo del artículo 3 son los más apropiados para desarrollar los tipos de conocimientos más directamente relacionados con la adquisición de comportamientos comprometidos con el ambiente y que en la estrategia de lectura será conveniente incluir preguntas que permitan la reflexión de los estudiantes en este sentido.

## 2. Alfabetización científica

2.1. La **argumentación** se reconoce como base del razonamiento científico que permite obtener conocimientos aplicables para comprender y resolver problemas de manera efectiva.

La comprensión del proceso argumentativo se refleja en las respuestas al reactivo 4B; las preguntas planteadas por los estudiantes reflejan su capacidad para identificar el tema del artículo y las relaciones que establecen los autores para responder una pregunta planteada.

En el reactivo 7B se les pide a los estudiantes que identifiquen las investigaciones previas que se mencionan en el artículo. Al comparar las respuestas es interesante observar que todos mencionan un número mayor de investigaciones previas al que identifican los autores.

Por un lado, esto podría indicar comprensión del conocimiento científico como basado en evidencia, sin embargo, al mismo tiempo podría señalar que los estudiantes no cuestionan la palabra de los autores y que confían en que la información que proporcionan está basada en evidencia aunque las referencias no estén apropiadamente señaladas. En el artículo 1, tomado de un libro de texto, las autoras identifican solamente una referencia, en tanto que los estudiantes mencionan 60; en el caso del artículo 2, mencionan un número menor de temas no identificados por el autor (47) y, en el caso del artículo 3, el número es todavía menor (24). Esto se explica porque los artículos 2 y 3 se tomaron de la literatura primaria y, en ellos, las investigaciones que menciona el autor están apropiadamente referenciadas.

A este respecto, también podemos señalar que, en el caso del artículo 1, sólo un estudiante menciona la falta de referencias y que en los tres artículos son

identificados como investigaciones previas tanto conceptos como métodos de investigación y disciplinas.

Las respuestas a las preguntas 1C y 2C nos permiten evaluar la capacidad de los estudiantes para identificar conclusiones y separarlas de la información previa que constituye los argumentos en que se basan los autores.

Respecto a la identificación de las conclusiones del autor, se observa que en el caso de los artículos 2 y 3 la estructura argumentativa permite a los estudiantes identificar claramente las conclusiones. La relación entre las conclusiones identificadas y las conclusiones que efectivamente corresponden al autor es de 45, 84 y 70 % para los artículos 1, 2 y 3 respectivamente.

Cuando se analizan las conclusiones de los estudiantes encontramos que, en general, son muy superficiales y relacionadas más con actitudes que con conocimientos; será importante considerar esto para proponer modificaciones en la estrategia de lectura, por ejemplo, incluir una sesión en que se discuta el proceso mediante el cual se construyen las conclusiones y analizar los artículos de manera explícita con el fin de identificar este proceso.

Finalmente, respecto a la estructura argumentativa de la literatura primaria y el razonamiento científico es importante resaltar que, si bien los comentarios de los estudiantes en cuanto al interés generado fue muy similar para los tres artículos (tabla No. 23); los comentarios positivos son más numerosos y analíticos para los artículos 2 y 3. Por ejemplo, comentarios sobre el artículo 2 como:

- “está sustentado con estudios realizados por especialistas”
- “aunque es un poco más complicado, es más informativo y no deja cabos sueltos”
- “tiene mejor estructura”

y para el artículo 3 como:

- “presenta diversos puntos de vista”
- “abarca temas políticos y económicos”

reflejan apreciación de algunas características del razonamiento científico.

2.2. El **planteamiento de preguntas** como una forma de concretar problemas que permite plantear estrategias de investigación para generar conocimiento y solucionar problemas.

Otra habilidad que se pretende desarrollar por medio de esta estrategia es la habilidad para plantear preguntas. Las preguntas planteadas por los estudiantes en los reactivos 4B y 5B se analizan para evaluar la posibilidad de que la estructura de los artículos permita a los estudiantes identificar la pregunta que los autores pretenden responder.

El artículo 1 no es literatura primaria y, por la misma razón, no tiene una estructura argumentativa que responda a una pregunta de investigación. Los estudiantes identifican claramente, con algunas variantes, que el artículo pretende explicar las causas del Cambio Climático y el Efecto Invernadero.

En el caso del artículo 2, fue sencillo para los estudiantes identificar la pregunta; puesto que el autor la incluye en el título, todos los estudiantes responden con una variante de ¿Cómo reacciona la vida en la Tierra ante el Cambio Climático? En cuanto al artículo 3, las preguntas planteadas por los estudiantes son más diversas, aunque tienen dos ejes principales: en uno de ellos el 66% de los estudiantes plantea preguntas sobre las consecuencias del uso de los plásticos y en el otro (22%), se encuentran preguntas sobre la propuesta de los autores de clasificación de los plásticos.

La dificultad que tienen los estudiantes para identificar la pregunta puede deberse a la complejidad del problema que analizan los autores y la gran cantidad de información que presentan para fundamentar su propuesta.

Las preguntas planteadas por los estudiantes para evaluar a sus compañeros en el reactivo 6C son de gran utilidad para evaluar esta habilidad, encontramos que, conforme se presentaron las lecturas, fue disminuyendo la cantidad de preguntas cerradas y aumentando las semicerradas y las abiertas.

Encontramos dos posibles explicaciones para este comportamiento: por un lado puede ser que las lecturas y el análisis y reflexión realizado por los estudiantes para responder los cuestionarios haya tenido como resultado el planteamiento de más preguntas abiertas, que son las más apropiadas para desarrollar razonamiento científico, a pesar de que en el aula no se discutieron las preguntas planteadas ni su pertinencia.

La otra posibilidad es que el tipo de artículo y la información que contiene cada uno de ellos haya dado lugar a diferentes tipos de preguntas. Se podría pensar que el artículo 1, al ser parte de un libro de texto y presentar información de tipo I genera preguntas cerradas, en tanto que los dos artículos tomados de la literatura primaria permiten el planteamiento de preguntas semicerradas y abiertas puesto que no sólo presentan información sino que, además, tienen una estructura argumentativa que permite establecer relaciones entre la información que los autores presentan en las diferentes secciones, esto es particularmente relevante, en el caso del artículo 3, en el que se presenta también información del tipo II y III y el enfoque multidisciplinario fomenta la reflexión sobre diversos aspectos del problema.

2.3. La importancia de las **fuentes de información** para validar el conocimiento y comprender y solucionar problemas de manera efectiva.

El éxito del proceso científico para establecer nuevos conocimientos depende, en gran medida, del uso de mecanismos apropiados para recabar información reconocida como válida por la comunidad científica.

La presentación de la estrategia a los estudiantes incluye, de manera muy breve, información en este sentido; es importante mencionar que ninguno de los estudiantes que participaron en esta estrategia tenían conocimiento previo de la posibilidad de acceso remoto a las bases de datos de diversas áreas de investigación que la UNAM pone a su disposición en la página de la Dirección General de Bibliotecas, ni de la forma en que éstas se utilizan.

Durante la sesión de discusión dedicada al vocabulario, se puso de manifiesto que la estrategia de la mayoría de los estudiantes para encontrar el significado de palabras o frases que no comprenden consiste en el uso de diccionarios y enciclopedias no especializados, pero sobre todo la búsqueda en internet sin distinción entre buscadores ni criterios de validación de las páginas web que arrojan los mismos como resultado de la búsqueda directa de las palabras o frases completas que no comprenden.

Estas observaciones ponen de manifiesto la utilidad de la estrategia de lectura de literatura primaria como una forma de propiciar en los estudiantes el desarrollo de habilidades de investigación que les serán de utilidad a lo largo de su vida académica, sin importar el área del conocimiento a la que vayan a dedicarse. Pensamos que será de gran utilidad dedicar más tiempo a describir las diferentes formas de acceso a la información que la UNAM pone a disposición de los miembros de su comunidad y explicar la forma en que éstas funcionan.



A pesar de que, en los cuestionarios, no se les pide a los estudiantes comparar los artículos que se les presentan, en la sección de comentarios (pregunta 7C) se encuentra que muchos de ellos hacen comparaciones en las que destacan las ventajas de la literatura primaria (artículos 2 y 3) comparadas con la lectura tomada de un libro de texto (artículo 1).

## VI. Conclusiones

- El trabajo con literatura primaria en el aula ha demostrado ser una forma adecuada de generar en los estudiantes de bachillerato el desarrollo de conocimientos ambientales.
- La estrategia que se propone en este trabajo puede acercar a los estudiantes a la comprensión de los problemas ambientales como multifactoriales que requieren del trabajo conjunto de una variedad de disciplinas tanto del área de las ciencias experimentales como del área de las ciencias sociales y las humanidades; para ello será necesaria una selección de artículos de revisión que incluyan en su análisis trabajo de investigación multidisciplinario.
- El trabajo que tenga como objetivo final la adopción de comportamientos responsables con el ambiente debe fomentar actitudes ambientales que, no solamente incluyan emociones y creencias, sino que también desarrollen buenas intenciones y compromiso con la adopción de acciones que colaboren en la solución de los problemas ambientales.
- Los conocimientos ambientales que se espera que los estudiantes adquieran a través de su formación en el bachillerato deben incluir, no solamente conocimientos sobre la forma en que funcionan los sistemas sino también, hacer énfasis en los conocimientos sobre las acciones que permiten resolver los problemas ambientales y su efectividad.
- La literatura primaria puede ser empleada para favorecer en los estudiantes la comprensión de la argumentación como base del razonamiento científico que permite resolver problemas ambientales de la manera más efectiva.

Para cumplir con este objetivo será de gran ayuda incluir en la estrategia un análisis a profundidad de la forma en que los científicos utilizan investigaciones previas de diversas áreas del conocimiento para argumentar sus propuestas y llegar a conclusiones que permitan aplicar los conocimientos generados en la resolución de problemas ambientales.

- El análisis de la literatura primaria en el aula es una estrategia valiosa para desarrollar la habilidad de plantear preguntas, habilidad que fomenta la comprensión de la forma en que el trabajo de investigación científica genera conocimientos que puedan ser aplicados para resolver problemas ambientales.
- La presentación a los estudiantes de bachillerato de artículos tomados de la literatura primaria pueden ser parte de una estrategia que genere interés en los métodos de investigación y las fuentes de información que usan los científicos y desarrolle habilidades de indagación y la adopción de mecanismos apropiados para recabar información validada científicamente que permita el conocimiento y la adopción de comportamientos favorables al ambiente.

### Referencias bibliográficas

Almeida, C.A. y Liotta, L. J. (2005). Organic Chemistry of the Cell: An Interdisciplinary Approach To Learning with a Focus on Reading, Analyzing, and Critiquing Primary Literature en *Journal of Chemical Education* 82 (12): 1794-1800.

Amador-Bedolla, C (2009).Cuatro problemas (químicos) para el siglo XXI. Seminarios Académicos FQ. Consulta web 3 de septiembre de 2013 <[www.slideshare.net/carlosamador/cuatro-problemas](http://www.slideshare.net/carlosamador/cuatro-problemas)>.

Brill, G.; Falk, H. y Yarden, A. (2004). The learning processes of two high-school biology students when reading primary literature en *International Journal of Science Education* 26 (4): 497-512.

Capra, F. (1991). El nuevo paradigma ecológico en *Nueva Conciencia Planetaria* 22: 28. Barcelona: Ediciones Integral.

CCH (1996) Plan de Estudios Actualizado

Chamizo, J. A. e Izquierdo, M. (2007). Evaluación de las competencias de pensamiento científico en *Alambique* 51: 9-19.

Di Donato, M. (2010). "Entrevista a Víctor M. Toledo". Papeles de relaciones ecosociales y cambio global. Consulta web 3 de septiembre de 2013 <[http://www.fuhem.es/media/cdv/file/biblioteca/Entrevistas/Entrevista\\_Victor\\_Toledo.pdf](http://www.fuhem.es/media/cdv/file/biblioteca/Entrevistas/Entrevista_Victor_Toledo.pdf)>.

ENP (1996) Planes y Programas de Estudio

Fernández-Flores, R. Editor (1994). La química en la Sociedad. Distrito Federal. UNAM.

Flick, L. B. y Lederman, N. G. (Editores) (2006). Scientific Inquiry and Nature of Science. Netherlands: Springer.

Ford, D.J. (2009). Promises and Challenges for the Use of Adapted Primary Literature in Science Curricula: Commentary en *Research in Science Education* 39 (3): 385-390.

Fikes, L. E. (1989). Advanced Organic Chemistry: Learning from the Primary Literature en *Journal of Chemical Education* 66 (11): 920-921.

Frick, F.; Kaiser, F. G. y Wilson, M. (2004). Environmental knowledge and conservation behavior: exploring prevalence and structure in a representative sample en *Personality and Individual Differences* 37 (2004): 1597-1613.

Gallagher G. J. y Adams, L. D. (2002). Introduction to the Use of Primary Organic Chemistry Literature in an Honors Sophomore-Level Organic Chemistry Course en *Journal of Chemical Education* 79 (11): 1368-1371.

Gardner, H. (2000). La educación de la mente y el conocimiento de las disciplinas. Lo que todos los estudiantes deberían comprender. Barcelona: Paidós.

Global Footprint Network (2013). The National Footprint Accounts, 2012 edition. Global Footprint Network, Oakland, CA, USA

Goldman, S. R. y Bisanz, G. L. (2002). Toward functional analysis of scientific genres: Implications for understanding and learning processes en J. Otero, J. A. Leon, & A. C. Graesser (Eds.), *The psychology of science text comprehension*. Mahwah, NJ: Erlbaum.

Intergubernamental Panel on Climate Change (IPCC) (2013). IPCC Fifth Assessment Report: Climate Change 2013. IPCC

Kaiser, F. G.; Oerke, B. y Bogner, F. X. (2003). Behavior-based environmental attitude: Development of an instrument for adolescents en *Journal of Environmental Psychology* 27 (2007): 242-251.

Makki, M. H.; Abd-El-Khalick, F. y Boujaoude, S. (2003). Lebanese Secondary School Students' Environmental Knowledge and Attitudes en *Environmental Education Research* 9 (1): 21-33.

McNeal, A. P. (1996). Models of Innovation in College Science Teaching en *Proceedings on the NSF sponsored conference on Inquiry Approaches to Science Teaching*. Hamshire College.

McNeill, J. R. (2000). *Something new under the sun: an environmental history of the twentieth-century world*. W. W. Norton and Company.

Norris, S. P.; Falk, H.; Federico Agraso, M; Jiménez Aleixandre-M. P.; Phillips, L. M. y Yarden, A. (2009). Reading Scientific Texts-Epistemology, Inquiry, Authenticity- Rejoinder to Jonathan Osborne en *Research in Science Education* 39:405-410.

Norris, S. P. *et al.* (2009b). West Nile Virus: Using Adapted Primary Literature in Mathematical Biology to Teach Scientific and Mathematical Reasoning in High School en *Research in Science Education* 39 (2009): 321-329.

Norris, S. P. y Phillips, L. M. (2009). Scientific Literacy en Olson, D. y Nancy Torrance (Editores). *The Cambridge Handbook of Literacy* (pp. 271-285). New York: Cambridge University Press.

Novo, M. (1996). La educación ambiental. Bases éticas, conceptuales y metodológicas (p. 68). Editorial Universitat, S.A.

Oki T. *et al.*(2006). Global Hydrological Cycles and World Water Resources en *Science* 313: 1068. Washington: AAAS.

Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2011), Departamento de Asuntos Económicos y Sociales (DESA), La población mundial alcanza hoy los 7 mil millones. Consulta web 3 de septiembre de 2013  
<[www.un.org/spanish/News/fullstorynews.asp?newsID=22135](http://www.un.org/spanish/News/fullstorynews.asp?newsID=22135)>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Estadísticas del hambre. Consulta web 3 de septiembre de 2013  
<[www.fao.org/hunger/hunger-home/es/](http://www.fao.org/hunger/hunger-home/es/)>

Perkins, D. (2005). ¿Qué es la comprensión? en Wiske, M. S. (compiladora), *La enseñanza para la comprensión. Vinculación entre la investigación y la práctica*. Argentina: Paidós. Redes de educación 1

Ponting, C. (1992). Historia verde del mundo. Barcelona: Paidós.

Rochman, C. M.; Browne, M. A.; Halpern, B. S.; Hentschel, B. T.; Hoh, E.; Karapanagioti, H. K.; Rios-Mendoza, L. M.; Takada, H.; Teh, S. y Thompson, R. C. (2013). Classify plastic waste as hazardous en *Nature* 494 (7436): 169-171.

Ruiz-Santoyo, M. E.; Turpie-Marion, S. y Vaca-Mier, M. (1994). Efecto invernadero y Cambio Climático Global en R. Fernández-Flores (Ed.), *La química en la Sociedad*. Distrito Federal. UNAM.

Sanera M. (1998). Environmental Education: Promise and Performance en *Canadian Journal of Environmental Education* 3: 9-26.

Smol, J. P. (2012). A planet in flux en *Nature* 483 (7387): S12-S15.

Toledo, V. M. (2009). ¿Contra nosotros? La conciencia de especie y el surgimiento de una nueva filosofía política. *Polis, revista de la Universidad Bolivariana* 8 (22): 219-228.

Wackernagel, M. y Rees, W. (1996). Our ecological foot print: reducing human impact on the earth en *The New Catalyst bioregional series*. Cánada: New Society Publishers.

Wicker, A. W. (1969). Attitudes versus Actions: The Relationship of Verbal and Overt Behavioral Responses to Attitude Objects en *Journal of Social Issues* 25 (4): 41-78.

Yarden, A. (2009). Reading Scientific Texts: Adapted Primary Literature for Promoting Scientific Literacy en *Research in Science Education* 39:307-311



**VIII. Anexos**

El efecto invernadero consiste en el atrapamiento de calor en la atmósfera por especies que absorben eficientemente la radiación de onda larga (infrarroja).

### Efecto invernadero y cambio climático global

Los cambios en la composición atmosférica pueden afectar el clima de distintas maneras. El ejemplo más conocido es el efecto del vapor de agua como regulador del clima ya que modifica el balance de radiación entre la tierra y la atmósfera; es claro que en una noche sin nubes la temperatura descende mucho más que en una noche nublada. Además del vapor de agua, otros gases traza —como  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{O}_3$ — también afectan el balance de radiación solar. Como es de esperarse, las concentraciones de estos gases traza están sustancialmente influenciadas por las emisiones antropogénicas a todo nivel de escala, es decir, local, regional y aun global.

Desde el siglo XIX se propuso que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera está relacionada con el efecto invernadero y el balance de energía y radiación. El análisis de los datos históricos de las concentraciones de  $\text{CO}_2$  y la temperatura global muestran una relación cercana como puede apreciarse en la Figura 14. Siguiendo esta línea de pensamiento y sobre la base de los incrementos observados en la temperatura global de la Tierra en los últimos 160,000 años, se calcula que un incremento al doble de las concentraciones mundiales actuales de  $\text{CO}_2$ , puede elevar la temperatura global de la Tierra entre 1.5 y 4.5 °C. Si esto pasara se produciría un aumento en la precipitación global, derretimiento del hielo en los casquetes polares y elevación del nivel de los océanos, además de sequías intensas en la época de verano.

La idea de que el aumento de la temperatura global de la Tierra tiene como único origen su correlación con las concentraciones de  $\text{CO}_2$ , no es compartida por todos los investigadores. Hay quienes consideran que los cambios climáticos observados pueden atribuirse a otras causas que afectan el balance de radiación por cambios en la concentración del vapor de agua; los ejemplos más comunes son el cambio en el tamaño de la cubierta vegetal de la Tierra o de los cuerpos de agua de gran superficie. La cubierta vegetal puede alterarse por incendios forestales o por la tala de los montes con el propósito de utilizar los terrenos para la agricultura; los cuerpos de agua por la irrigación de los terrenos y la creación o destrucción de los lagos algunas veces producen cambios de clima observados son solamente a nivel local.

Tomado de:

Ruiz Santoyo, M. E., Turpin Marion, S y Vaca Mier, M. *Química y Medio Ambiente*, en *La química en la Sociedad*, Facultad de Química, UNAM, México, 1994. pp. 31-33.

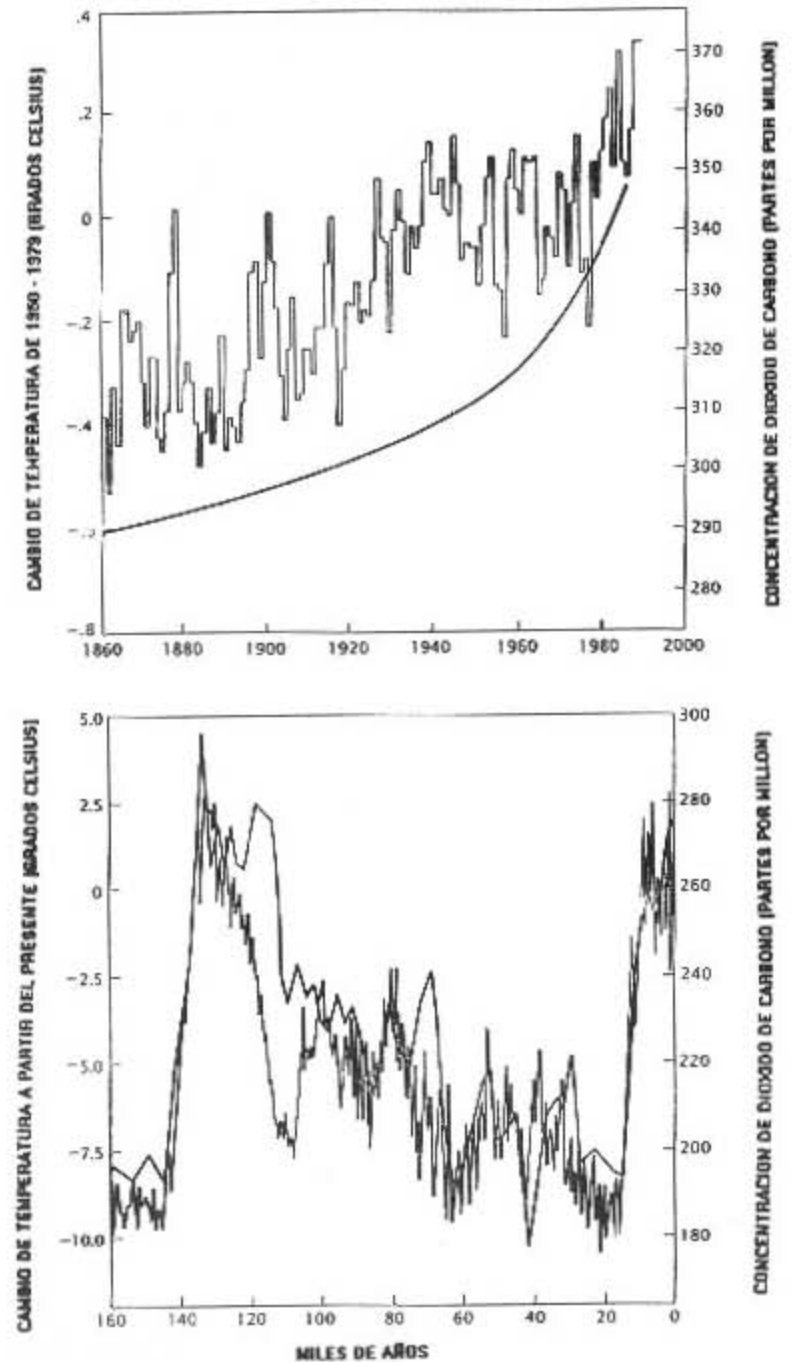


Figura 14. Cambios de temperatura en la Tierra y concentración de  $\text{CO}_2$ .



## CAMBIO CLIMÁTICO

# Un planeta cambiante

¿Cómo reacciona la vida en la Tierra ante el cambio climático?

Por John P. Smol

Las actividades humanas han adicionado millones de toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera de la Tierra; lo que ha ocasionado el aumento de las temperaturas globales. Apenas empezamos a observar las alteraciones que produce el aumento de la temperatura en los diferentes climas del planeta y a comprender los efectos que esto tiene sobre los animales, la agricultura y las poblaciones humanas. ¿Cómo se verá el planeta en el año 2100? ¿Cómo ha alterado el cambio climático la biología del planeta?

## UN MUNDO CAMBIANTE

Si voláramos sobre el Ártico durante el verano observaríamos un paisaje lleno de manchas con estanques someros, algunos rodeados de humedales musgosos. Estos estanques permanecen congelados casi todo el año pero se deshuelan durante unos pocos meses para convertirse en zonas de alta biodiversidad llenas de plantas, animales y microorganismos. El aislamiento del Ártico y sus ambientes extremos han hecho difícil la recolección de datos sobre los cambios ecológicos de la región y los registros existentes son dispersos e incompletos.

Afortunadamente, los lagos y estanques en la región pueden ayudar a los científicos a construir una imagen de las condiciones ambientales en el Alto Ártico remontándose miles de años.

Los sedimentos de estos remotos estanques revelan su historia. Contienen granos de polen, algas muertas y fósiles de invertebrados, así como otra información biológica, química y física. La acumulación al fondo de los estanques, capa sobre capa, produce una línea del tiempo histórica en la vertical. De manera semejante a los anillos de los árboles, que reflejan las condiciones de crecimiento de los años anteriores, los registros sedimentarios nos permiten echar un vistazo a climas del pasado y perturbaciones ambientales. Los podemos considerar como la "caja negra" de los aviones, sólo que para el ecosistema.

En 1983, en mi laboratorio empezamos a estudiar alrededor de 40 de estos estanques de agua dulce en el lado Este-Centro de la Isla Ellesmere; la isla más al Norte del archipiélago Canadiense. Elegimos estanques someros porque su tamaño pequeño significa que son altamente sensibles al cambio. Cada año regresamos al Ártico para recoger muestras de agua y depósitos de sedimentos de estos estanques y de otras regiones más al Norte para comparar.

Al principio sabíamos muy poco acerca de estos ambientes acuáticos o los microorganismos que contienen. Empezamos por estudiar fósiles de

diatomeas, minúsculas algas que parecen joyas y que se encuentran en casi cada estanque y lago. Mi trabajo previo en otras partes de Canadá me había enseñado cómo es que los cambios ambientales alteran las comunidades de diatomeas a través del tiempo. Cada especie de diatomea requiere, para sobrevivir y reproducirse, un conjunto de condiciones ambientales específicas. Saber cuáles especies de diatomeas viven en un ambiente específico nos permite usar la incidencia de diatomeas en el pasado para comprender las condiciones ambientales en ese momento. Inicialmente planeaba seguir estas sutiles variaciones para aprender más acerca de como ha cambiado la región a través de miles de años.

En 1994 descubrimos cambios inesperados en las diatomeas recolectadas en estos estanques árticos. En un lugar, enterramos un tubo hueco de aproximadamente 100 cm en el fondo de un estanque, extrajimos el núcleo de sedimentos y lo rebanamos en secciones. Utilizamos técnicas de fechado basadas en radioisótopos de carbono-14 y plomo-210 para determinar que este núcleo en particular se remontaba aproximadamente 6,500 años atrás. Durante la mayor parte de ese periodo dominaban las mismas tres o cuatro especies de diatomeas en el

NATURE.COM

Lee el último número de *Nature Cambio*

Climático  
GO.NATURE.COM/NOTESX

estanque. Pero, entre la mitad y el final del siglo XIX, la comunidad de diatomeas cambiaba radicalmente: se volvió más diversa y compleja, señal de que la cubierta de hielo había decaído<sup>1</sup>. Propusimos la hipótesis de que este cambio súbito se debe a un clima más cálido. Otros científicos ya habían propuesto que los seres humanos podrían estar alterando el clima, pero nuestro estudio sugería que el calentamiento había iniciado alrededor de un siglo antes en el Alto Ártico.

Muy pronto hubo otras señales dramáticas del cambio climático en nuestra área de estudio. Durante la década de 1990, los estanques árticos se volvieron más salados y sus niveles de agua cayeron, evidencia de que la pérdida de agua se produce por evaporación más que por ningún otro medio. Especulamos que, si el calentamiento continúa, los estanques pueden desaparecer durante el siguiente siglo.

Sin embargo, cuando regresamos, en julio de 2006, encontramos que algunos estanques estaban completamente secos y otros se habían convertido en meros charcos<sup>2</sup>. Las aguas que alguna vez habíamos vadeado habían sido reemplazadas por lodo agrietado. Los humedales de alrededor estaban tan secos que podíamos prenderles fuego con un encendedor de cigarrillos. Estábamos anonadados. Estanques que habían sido cuerpos de agua permanentes durante miles de años ahora eran efímeros; durante la primavera se llenaban con nieve derretida y se evaporaban en julio. Las temperaturas del interior en el continente Ártico para los primeros siete meses de 2006 se elevaron alrededor de 3.5°C sobre el promedio de treinta años para registrar el verano más cálido de la historia. El calentamiento había llevado los estanques más allá de su punto de no retorno a un nuevo estado que ya no puede mantener un humedal. La pérdida de los estanques alteró un antiguo ecosistema que estaba habitado por organismos acuáticos como algas e invertebrados y que era área de reproducción de aves acuáticas y zona de caza de zorros árticos que se alimentaban de las aves y sus huevos.

La desaparición de los estanques árticos es una señal del cambio climático, un cambio de largo-plazo en el clima ártico que se manifiesta en las modificaciones de temperatura, precipitación y otros indicadores. En esta zona el cambio climático ha avanzado más rápido que en latitudes más bajas. El cambio que hemos visto en el Ártico es la vanguardia de los cambios climáticos que están en camino. Pero, ¿qué es lo que está causando el calentamiento de la Tierra? Si lo entendemos, quizá podamos detenerlo.

**ELEMENTOS DEL CALENTAMIENTO**

La comprensión del cambio climático requiere del conocimiento de los gases en el aire. Más del 99% del aire es nitrógeno y oxígeno, el restante 1% es una mezcla de otros gases que incluyen dióxido de carbono. Por cada millón de moléculas en el aire, hay menos de 400 moléculas de dióxido de carbono, esto se expresa como 400 partes por millón (ppm). Sin embargo el dióxido de carbono ha atraído la atención de los científicos que estudian el cambio climático porque es un 'gas de efecto invernadero'. Los gases de efecto invernadero absorben el calor emitido por la Tierra, por lo que calientan la atmósfera y el planeta.

Otros gases de efecto invernadero son el metano, el ozono, el óxido nitroso y los clorofluorocarbonos. Estos son menos

abundantes que el dióxido de carbono pero algunos son incluso más poderosos. El metano, que es emitido por la industria, los pantanos, los arrozales y la digestión de las vacas, constituye sólo 1.8 ppm de la atmósfera pero es aproximadamente 20 veces más poderoso como gas de efecto invernadero que el dióxido de carbono.

A pesar de su pequeña contribución a la composición de la atmósfera, los gases de efecto invernadero tienen un enorme efecto en el clima. Sin ellos, la temperatura promedio de la Tierra estaría alrededor de -18°C en lugar de unos confortables 14°C. Debido a su enorme poder, incluso cambios muy pequeños en su concentración pueden tener enormes efectos en la temperatura.

*“Los científicos todavía están aprendiendo, esto dificulta hacer predicciones de cambio climático detalladas.”*

En los años 1950 el debate científico acerca del dióxido de carbono se centró en si estaba o no acumulándose en la atmósfera. De manera global, en esos años, los autos, las fábricas y otras actividades que queman combustibles fósiles emitieron más de mil millones de toneladas de carbono a la atmósfera anualmente pero muchos científicos creían que los océanos y las plantas lo absorbían casi completamente.

Con este debate como telón de fondo, David Keeling, un químico del Instituto Scripps de Oceanografía en La Jolla, California, decidió investigar. En 1957, instaló un conjunto de novedosos analizadores de gases en la cima del volcán Mauna Loa en Hawai para medir los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera. Eligió el lugar por su aislamiento y elevación (alrededor de 3,400 metros) que evitaba fuentes locales de dióxido de carbono que hubieran aumentado las lecturas si el observatorio hubiera estado más abajo o en algún sitio industrial o urbano. Al principio del experimento las lecturas promedio eran de 315 ppm. Keeling observó que los valores disminuían de mayo a septiembre y después volvían a aumentar hasta el siguiente año. El ciclo continuaba, arriba y abajo, arriba y abajo, disminuía en verano cuando las plantas consumen dióxido de carbono para su crecimiento y aumentaba nuevamente durante el otoño y el invierno. Observar este patrón era como observar la respiración del planeta.

Pocos años después, Keeling notó otra tendencia: los niveles de dióxido de carbono se elevaban de un año al siguiente. Las industrias, el transporte y otras actividades añadían cada año más dióxido de carbono a la atmósfera pero los océanos no podían seguir el ritmo. Ahora sabemos que, a largo plazo, aproximadamente la mitad del dióxido de carbono que añadimos a la atmósfera permanece en ella; los océanos absorben alrededor del 25% y las plantas consumen el resto. Para junio del 2011, las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono habían llegado a 394 ppm.

El nivel actual de dióxido de carbono excede con mucho la fluctuación natural (180-300 ppm) de los pasados 800,000 años. Los científicos conocen el

rango histórico por el estudio de los archivos naturales del planeta, como los anillos de los árboles, los sedimentos de lagos y océanos y los núcleos de hielo. Estos archivos son conocidos como indicadores indirectos.

Los núcleos de hielo extraídos de las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida proporcionan a los investigadores datos que se remontan más de 800,000 años atrás. Conforme la nieve se acumula en el suelo, atrapa burbujas de aire, cenizas volcánicas, polvo y otras sustancias en orden cronológico. Las burbujas de aire proporcionan un registro de los gases que había en la atmósfera en diferentes momentos.

Los científicos también pueden estimar la temperatura del aire cuando esa nieve caía midiendo la proporción de dos isótopos del oxígeno, oxígeno-18 y oxígeno-16. De manera general, el hielo formado a temperaturas cálidas contiene mucho oxígeno-18 y, alternativamente, altos contenidos de oxígeno-16 indica temperaturas más bajas. Si se grafica la temperatura vs la concentración de dióxido de carbono se revela una correlación entre las dos.

Los mismos registros de indicadores muestran que las actividades humanas han influenciado el clima durante más de un siglo. Los investigadores utilizan el término 'cambio climático antropogénico' para referirse al cambio climático causado por actividades humanas. Los registros de temperatura muestran que el planeta se ha calentado durante el siglo XX. En 2010, la temperatura promedio superficial global fue la segunda más alta registrada, alcanzó 0.96°C sobre el promedio del siglo XX.

Probablemente un grado no parezca mucho, pero este incremento es un promedio global y el calentamiento no es uniforme en todo el planeta; es mayor en algunas áreas, incluyendo las regiones polares. Pequeños cambios en la temperatura en el Ártico se amplifican por un sistema de retroalimentación positiva por lo que un pequeño aumento de la temperatura genera un calentamiento más extenso en el Ártico.

**ICE, ICE, MAYBE**

Una de las razones por las que el Ártico carga con el mayor impacto del cambio climático es un proceso llamado retroalimentación hielo-albedo. El albedo representa la fracción de la energía que nos llega del sol (radiación de onda corta) que la Tierra refleja de regreso al espacio (como radiación de onda larga). El hielo y la nieve tienen altos albedos y reflejan entre el 60 y el 90% de la energía solar. La tierra, la vegetación y el océano, al ser más oscuros, tienen albedos más bajos porque absorben la mayor parte de la energía. Imagina dos sillas de plástico en un caluroso día de verano, una blanca y una negra. La de color blanco sería mucho más agradable para sentarse; la de color negro, al haber absorbido más energía del sol, estaría demasiado caliente.

Las temperaturas más cálidas pueden disparar un ciclo de calentamiento en el Ártico. Conforme la temperatura del aire se incrementa, el hielo se derrite, exponiendo tierra y océano que, al ser más oscuros, absorben energía solar durante el verano, cuando el Sol nunca se oculta. Las superficies que una vez reflejaban la luz solar, ahora la absorben. Estas zonas se vuelven más cálidas y ocasionan que más hielo se derrita, esta amplificación explica por qué el Ártico se ha calentado a una tasa del doble que el promedio global desde 1980.

Casi todos los modelos de simulación del clima muestran que el Ártico perderá su hielo marino de verano multianual (el hielo que ha sobrevivido veranos previos) para el 2100, pero los científicos no están seguros de exactamente cuándo ocurrirá. Las mediciones satelitales muestran que la capa



Q&A John P. Smol  
Regime change  
PAGE 16

multianual -la capa que ha sobrevivido uno o más veranos- que cubre el Océano Ártico se ha estado encogiendo y adelgazando durante 30 años. En 2007, el tamaño de la capa de hielo del Ártico -definida como el área del océano con más de 15% de hielo marino por kilómetro cuadrado- alcanzó un récord mínimo de 4.13 millones de km<sup>2</sup>, que está aproximadamente 40% por debajo del promedio desde 1979 hasta el 2000.

En 2009, Muyin Wang de la Universidad de Washington y James Overland del Laboratorio de Ambiente Marino del Pacífico de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica predijo que el primer verano en el que el Ártico estará libre de hielo ocurrirá décadas antes de lo que calculaban las predicciones anteriores. Ellos llevaron a cabo simulaciones en las que usaban los mínimos de los veranos de 2007 y 2008 como punto de partida. En lugar de un deterioro de la capa de hielo a tasa constante cada año, sus cálculos mostraron varias caídas abruptas de la capa de hielo de verano que resultaría en un Ártico libre de hielo alrededor del 2035.

El destino de la capa de hielo del Ártico es importante porque ayuda a controlar el clima del planeta. Si la capa de hielo desaparece, el planeta pierde su aire acondicionado. Ésta también está ligada al bienestar de la nación Inuit y otros pueblos del Norte que cazan y viajan sobre el hielo y de los mamíferos y otros organismos marinos que dependen de ella para su supervivencia. Los Inuit suelen viajar largas distancias sobre el agua cubierta de hielo y a través de la tundra helada. El hielo delgado, el congelamiento tardío y el descongelamiento temprano llevan sus trineos y vehículos para la nieve entre aguas gélidas y hacen sus travesías peligrosas. Un resultado del derretimiento del hielo probablemente positivo es que se están abriendo atajos para los barcos a través del Paso del Noroeste y la Ruta Marítima del Norte. Por supuesto, esto podría aumentar la incidencia de eventos negativos, como los derrames petroleros en el Océano Ártico o la introducción de especies exóticas.

#### ADAPTACIONES DE LA VIDA

La vida ha persistido en la Tierra durante miles de millones de años. En respuesta a antiguos cambios climáticos, la flora y fauna se ha adaptado o se ha extinguido. Sin embargo, una gran parte del cambio climático que experimentamos en la actualidad se debe a los seres humanos, y está avanzando más rápido por el pronunciado aumento en las concentraciones de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico. El efecto es mayor en el Ártico pero se está propagando a través de los océanos, selvas tropicales y desiertos. Conforme las regiones presentan nuevas características climáticas -generalmente temperaturas más cálidas y cambios en la precipitación y la humedad- las plantas y los animales que viven en ellas tienen que reaccionar. Algunas especies prosperarán en el nuevo clima y otras no se adaptarán al nuevo clima con la suficiente rapidez por lo que sus poblaciones se fragmentarán, disminuirán y serán llevadas a la extinción.

El efecto del cambio climático en la flora y fauna es analizado mediante el seguimiento de especies de interés en largos periodos de tiempo. Se llevan a cabo registros de la fenología de las especies: el momento de eventos naturales como el florecimiento anual, la brotación de las plantas, el regreso de las aves



**Vanguardia del clima: Camp Pond en el Ártico Canadiense que había sido un cuerpo de agua permanente durante milenios (la imagen de arriba fue tomada en julio de 1996), está ahora seco durante el verano (la imagen de abajo fue tomada en julio del 2006).**

migratorias y el regreso de mamíferos de su periodo de hibernación.

A finales de los años 1990 los científicos empezaron a encontrar cambios en la fenología de varias especies. Generalmente, estos registros muestran tendencias a largo plazo con las primeras señales de la primavera. Por ejemplo, entre 1971 y 1995, las aves británicas atrasaron sus fechas de incubación casi 9 días y, por un periodo de 17 años, las ranas británicas desovaron progresivamente antes. En 1999, los petirrojos americanos regresaron a las Rocallosas en Colorado desde latitudes más bajas 14 días antes de lo que lo hicieron en 1981 (ref. 3). Los Inuits incluso han detectado petirrojos americanos

en algunas islas del Ártico, muy lejos del borde norte del bosque boreal que es el límite tradicional de su hábitat.

En cada uno de estos casos, la temperatura ha tenido un papel. Por ejemplo, las temperaturas más cálidas en la primavera pueden fomentar el crecimiento temprano de las plantas, que estimula la presencia de insectos al principio de la primavera. Esta aparición temprana hace ventajoso para las aves poner sus huevos antes porque así sus crías tendrán mucho alimento. Las temperaturas más cálidas en la primavera también promueven la migración de ciertas especies como el petirrojo americano hacia mayores altitudes. Otros factores,

como la precipitación, también tienen influencia en estos eventos.

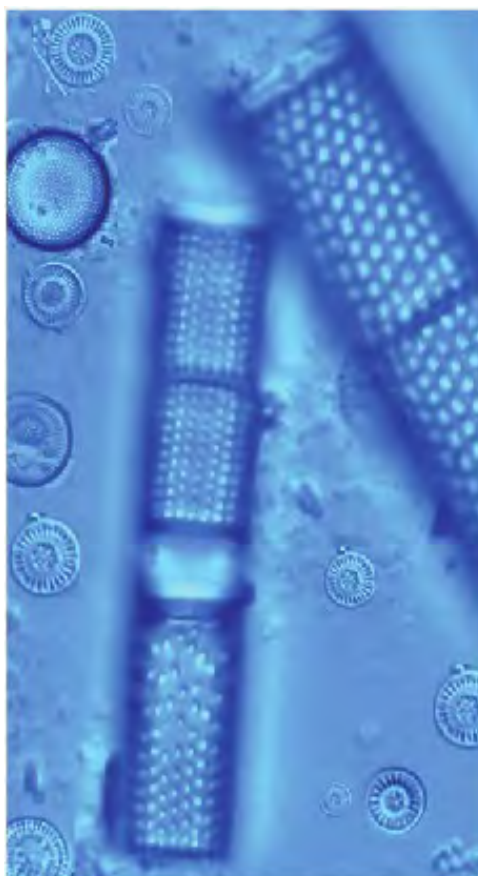
De acuerdo con varios estudios, muchas especies, desde escarabajos hasta abedules se están ajustando al clima por medio de la migración hacia zonas que habían estado fuera de sus fronteras geográficas de siempre. La bióloga Camille Parmesan de la Universidad de Texas en Austin fue uno de los primeros científicos en documentar estos desplazamientos de hábitat de las especies en respuesta al cambio climático. Ella se dedicó, durante cinco años, a localizar diferentes poblaciones de la mariposa *checkerspot* en el oeste de los Estados Unidos. Después comparó los sitios con registros históricos de poblaciones en especímenes de museos, colecciones privadas y notas de campo de investigadores. Encontró que la mariposa se había movido 124 metros hacia arriba y 92 Km al Norte desde principios del siglo XX; lo que atribuyó a una reacción a las temperaturas más altas.

Cuando una especie altera su fenología o desplaza su hábitat, no lo hace de manera aislada. Los científicos han documentado casos de desajuste trófico cuando la disponibilidad del alimento se desplaza en respuesta a la temperatura, dejando de lado las necesidades de otras especies. El crecimiento primaveral de una planta o la aparición de insectos puede estar íntimamente relacionado con las temperaturas locales, pero la llegada de nuevas especies como un ave cantora migratoria puede apuntar a cambios en la duración del día. Si el ave llega en la misma fecha del calendario, puede que pierda el máximo de su alimento o no lo encuentre en absoluto.

**BEETLEMANÍA**

Las temperaturas más altas pueden incrementar la abundancia de algunas especies, aumento que puede tener efectos negativos en otras. El escarabajo del pino de montaña es un buen ejemplo. Desde los años 1990 este escarabajo ha consumido más de trece millones de hectáreas -un área del mismo tamaño que Grecia o Louisiana- de bosque de *pinus contorta* en el norte y centro de la Columbia Británica en Canadá. Es probable que las prácticas forestales en el área también hayan favorecido el surgimiento de esta plaga. En el pasado, su población estaba controlada en parte por las olas de frío tempranas y las heladas de mitad del invierno que mataban el escarabajo. Pero ahora, las temperaturas cálidas durante el verano han reducido la mortandad del escarabajo y permitido que expanda su hábitat hacia el este hasta Alberta. En su nuevo hogar, el escarabajo ha empezado a atacar el *pino de jack* que es una especie dominante del bosque boreal. El escarabajo no sólo puede moverse hacia otras provincias, sino que también puede ocasionar la liberación de grandes cantidades de dióxido de carbono en la atmósfera conforme los bosques van muriendo.

Otras especies pueden no encontrar lugar adonde emigrar. La población de osos polares en la Bahía de Hudson en el oeste de Canadá está decayendo, en parte debido al declive del hielo. Las hembras son obligadas a moverse a tierra dos semanas antes que al principio de los años 1990 por la ruptura temprana de la capa de hielo en primavera. Algunos científicos predicen que la población puede estar en riesgo si el momento en que se empieza a romper la capa de hielo se desplaza otras seis semanas. El problema es que la ruptura temprana de la capa



**Cápsulas del tiempo: diatomeas preservadas, algas microscópicas que en los sedimentos revelan información de cambios ambientales del pasado.**

de hielo acorta su temporada de caza. Las hembras ya tienen dificultades para llenar sus propias necesidades energéticas cuando están gestando, y es todavía más difícil encontrar suficiente comida para alimentar a sus cachorros. Al mismo tiempo los osos grizzly se están moviendo hacia el Norte, dentro del territorio de los osos polares. Ya se han observado híbridos de osos grizzly-polar, confirmados por análisis de ADN, que son llamados pizzly por algunos y grolar por otros.

Los corales marinos son particularmente vulnerables. Durante el siglo XX, la temperatura promedio de los océanos se elevó alrededor de 0.74°C. Este cambio puede parecer pequeño pero los corales se enfrentan con aguas 1-2 °C más cálidas que las temperaturas normales en verano. En aguas cálidas, los corales expulsan las algas simbióticas que les dan sus vibrantes colores, una reacción llamada blanqueamiento. El pH oceánico también está cambiando como resultado del incremento de la concentración de dióxido de carbono. El dióxido de carbono reacciona con agua marina, la hace más ácida y descomponen las moléculas de las que dependen los corales para construir sus esqueletos<sup>4</sup>. Ambos eventos pueden llevar a la extinción a gran escala de los arrecifes de coral.

El cambio climático también afecta la salud humana. Por ejemplo, las enfermedades infecciosas propagadas por insectos pueden

convertirse en amenazas en diferentes lugares. El clima fresco en las tierras altas de Kenia históricamente ha mantenido la incidencia de malaria más baja que en las tierras bajas más cálidas. Pero el calentamiento en la región ha abierto el paso a zonas de elevada altitud a los mosquitos que portan el parásito con el aumento del número de casos de malaria. La identificación por adelantado de las áreas de riesgo de epidemia sigue siendo difícil. Los científicos todavía tratan de comprender los límites biológicos de los agentes patógenos y sus huéspedes, lo cual dificulta hacer predicciones detalladas y geográficamente específicas. Conforme comprendan más acerca de los factores bióticos y abióticos que influyen en la propagación de una enfermedad, tendrán una mejor perspectiva de la forma en que el cambio climático altera los patrones de las enfermedades infecciosas.

**UN FUTURO INCIERTO**

¿Qué otros cambios biológicos adicionales se esperan para el futuro? La respuesta depende en gran medida de las acciones que llevemos a cabo. Ya hemos contaminado nuestra atmósfera con altas concentraciones de gases de efecto invernadero. Se espera que la población del planeta aumente de los actuales 7 mil millones a 9 mil millones en 2050 y se espera que este aumento vaya emparejado con el incremento en el consumo de energía y la producción de gases de efecto invernadero. Incluso si logramos frenar las emisiones, las futuras generaciones tendrán que lidiar con el legado de estos gases de efecto invernadero: temperaturas extremas, inundaciones, sequías, tormentas y aumento en el nivel del mar. Necesitamos encontrar formas de reducir drásticamente las emisiones, pero también debemos planear el futuro y encontrar formas de adaptarnos. Enfrentamos enormes desafíos.

Para comprender los efectos potenciales del cambio climático en la flora y fauna de la Tierra, los científicos necesitarán seguir la pista y generar mapas de las poblaciones de diversas especies. Ellos buscarán tendencias y tratarán de identificar los factores que más influencia tienen para la sobrevivencia o desaparición de las especies, pero también deben desenredar las consecuencias combinadas de otros efectos humanos, incluyendo la degradación del hábitat, la sobrepesca, la lluvia ácida y los compuestos tóxicos.

La complejidad de la biósfera nos da la posibilidad de hacer muchas preguntas acerca de nuestro planeta, su cambio climático, y las especies que lo habitan. Por ejemplo, ¿por qué algunas regiones del Ártico se están calentando más rápido que otras? ¿Veremos formarse nuevas comunidades biológicas, conforme algunas especies se pierdan y otras se expandan o muevan sus hábitats? Si es así, ¿las nuevas comunidades cambiarán la forma en que funcionan los ecosistemas?

**John Smol** es profesor de biología y titular de la *Cátedra de Investigación de Canadá en Cambio Ambiental en la Queen's University en Kingston, Ontario, Canadá.*  
e-mail: [smolj@queensu.ca](mailto:smolj@queensu.ca)

1. Douglas, M. S. V., Smol, J. P. & Blake, W. Jr *Science* **266**, 416-419 (1994)
2. Smol, J.P. & Douglas, M. S. V. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **104**, 12395-12397 (2007).
3. Inouye, D. W. et al. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **97**, 1630-1633 (2000).
4. Hoegh-Guldberg, O. et al. *Science* **318**, 1737-1742 (2007)

# COMMENT

**ECODISEÑO** Ingeniero del velódromo olímpico construye con la naturaleza **p. 172**

**ECODISEÑO** Fabricantes de materiales sobre como hacer más con menos **p. 174**

**TEATRO** Obra de teatro en Nueva York explora por qué Isaac Newton se clavó una aguja en el ojo **p. 175**

**MEDIDAS** Algunas medidas de evaluación carecen de credibilidad **p. 176**



Voluntarios para la limpieza atraviesan una represa abarrotada de plásticos.

## Clasificación de los plásticos como residuos peligrosos

Las políticas para el manejo de residuos plásticos son obsoletas y amenazan la salud de las personas y la vida silvestre, dicen **Chelsea M. Rochman, Mark Anthony Browne** y otros colegas.

El año pasado se produjeron globalmente 280 millones de toneladas de plásticos. Menos de la mitad fueron enterrados en tiraderos o reciclados. De las 150 millones de toneladas restantes, una parte puede estar todavía en uso; el resto contamina continentes y océanos (ver 'Mundo Plástico').

Los residuos de plásticos pueden dañar físicamente la vida salvaje<sup>1,2</sup>. Además, bajo ciertas condiciones, muchos plásticos pueden ser químicamente dañinos- ya sea por ser ellos mismos potencialmente tóxicos<sup>3</sup> o porque absorben otros contaminantes<sup>4,5</sup>. Aún así, en Estados Unidos, Europa, Australia y Japón los plásticos son clasificados como residuos

sólidos - de manera que son tratados de la misma manera que los restos de alimentos o residuos de jardín.

Nosotros creemos que, si los países clasificaran los plásticos como peligrosos, sus agencias ambientales tendrían el poder para restaurar hábitats afectados y podrían evitar la acumulación de los residuos más peligrosos. En última instancia, este cambio podría estimular la investigación sobre nuevos polímeros para reemplazar los materiales más problemáticos con otros más seguros.

En la actualidad es prácticamente imposible caminar en el campo o en la playa sin encontrar pedazos de plástico. Los pedazos grandes desde botellas y bolsas

hasta pontones flotantes pueden transportar especies a nuevos hábitats en dónde sean dañinos. Estos residuos pueden matar o lastimar especies ecológica y comercialmente importantes, incluyendo mejillones, pastos de marismas y corales<sup>1,2</sup>. Mamíferos, reptiles y aves también pueden sufrir daño al ingerir plásticos o enredarse en ellos. El año pasado, el secretariado de la Convención sobre Diversidad Biológica en Montreal, Canadá, reportó que todas las especies de tortugas marinas, el 45% de mamíferos marinos y el 21% de las aves marinas pueden ser dañadas de esta manera.

**RIESGOS PARA LA SALUD**

Conforme los plásticos se rompen en pedazos pequeños se hace más probable que puedan infiltrarse en la cadena alimenticia<sup>2</sup>. En estudios de campo y de laboratorio se ha observado que peces, invertebrados y microorganismos consumen partículas micro-métricas<sup>2</sup>, que provienen de telas sintéticas (de poliéster o acrílico)<sup>6</sup> y productos de limpieza que contienen plásticos. Es necesario llevar a cabo más investigaciones para conocer los efectos del consumo de desechos en los organismos en la vida silvestre, sin embargo, estudios en humanos<sup>7</sup> y mejillones<sup>8</sup> han encontrado que los microplásticos ingeridos e inhalados llegan al interior de las células y tejidos en donde pueden causar daños. (En pacientes a con implantes en rodilla y cadera este tipo de partículas pueden interrumpir procesos celulares y degradar los tejidos.)

Los plásticos están hechos de unidades que se repiten llamadas monómeros y que forman enlaces para generar cadenas largas o polímeros. Estas cadenas generalmente son consideradas químicamente inertes, sin embargo, en en los plásticos también pueden encontrarse monómeros que no reaccionaron y otros ingredientes dañinos<sup>3,4</sup>. De acuerdo con una escala de riesgo basada en el Sistema Global Sistemático de Clasificación y Etiquetado de Sustancias de la Organización de las Naciones Unidas los ingredientes de más del 50% de los plásticos son peligrosos<sup>3</sup>. Por ejemplo, existen estudios que analizan la transferencia de aditivos del cloruro de polivinilo (PVC) que señalan que compuestos de este tipo provenientes de suministros médicos pueden acumularse en la sangre<sup>8</sup>. En pruebas de laboratorio se ha encontrado que los monómeros y otros ingredientes del PVC, poliestireno, poliuretano y policarbonato pueden ser carcinogénicos y afectar a los organismos de la misma forma que el estrógeno<sup>3,4,9</sup>.

Los monómeros que se emplean para fabricar plásticos como el polietileno (usado en bolsas para las compras) se cree que son más benignos, sin embargo, estos materiales también pueden convertirse en tóxicos al almacenar otros contaminantes<sup>4,5</sup>. Algunos pesticidas y contaminantes orgánicos como bifenilos policlorados se han encontrado de manera consistente en desechos plásticos en concentraciones peligrosas de cien veces las encontradas en sedimentos y un millón de veces las encontradas en agua de mar<sup>4</sup>. Muchos de estos compuestos son 'contaminantes prioritarios': compuestos regulados por agencias gubernamentales, incluyendo la Agencia de protección ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos debido a su toxicidad o persistencia en organismos y cadenas alimenticias. Estos compuestos pueden interrumpir procesos fisiológicos claves,

*“Los mayores productores de desechos plásticos deben actuar ya.”*

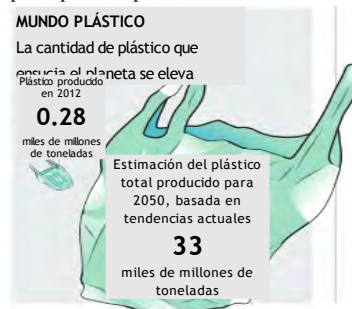
como la división celular y procesos inmunológicos, lo que causa enfermedades y disminuye la capacidad de los organismos para escapar de los depredadores y reproducirse.

En un estudio (de resultados no publicados) hemos encontrado que, al menos el 78% de los contaminantes prioritarios incluidos en la lista de la EPA y el 61% de los incluidos en la lista de la Unión Europea se encuentran asociados con desechos plásticos. Algunos de estos son ingredientes de los plásticos y otros son absorbidos desde el ambiente. La evidencia preliminar indica que los contaminantes prioritarios pueden ingresar a los tejidos de las especies cuando estas consumen desechos<sup>4,10</sup>. La concentración de bifenilos policlorados en los tejidos de aves que consumen desechos plásticos es hasta 300% mayor que la concentración en los tejidos de aves que no consumen plásticos<sup>4</sup>.

**EL NOMBRE DEL JUEGO**

Los gobiernos han luchado por décadas para reducir los desechos plásticos. La Convención Internacional para la Prevención de la Contaminación Producida por Embarcaciones (MARPOL, por su siglas en inglés) fue firmada en 1973, aunque la prohibición absoluta de eliminación de desechos plásticos no fue incluida hasta finales de 1988. Sin embargo, a pesar de que 134 naciones acordaron eliminar los desechos plásticos en el océano, los muestreos oceánicos sugieren que el problema ha persistido e inclusive empeorado desde que se firmó el acuerdo. En el Pacífico Norte, la concentración de microdesechos plásticos ha crecido en dos órdenes de magnitud. Hasta donde sabemos no se ha hecho ningún intento para regular la disposición de desechos plásticos en tierra a un nivel internacional.

Nosotros consideramos que los peligros físicos derivados de los desechos plásticos están tan bien establecidos y que los peligros químicos sugeridos son suficientemente inquietantes para que los principales productores de desechos



plásticos -Estados Unidos, Europa y China- deban actuar ya. Estos países han aceptado clasificar como peligrosos los plásticos más dañinos, incluidos aquellos que no pueden ser reusados o reciclados porque su baja durabilidad o contenido mixto de materiales no pueden ser separados.

Enfocarse en los materiales más problemáticos es un primer paso. Actualmente, sólo cuatro plásticos -PVC,

poliestireno, poliuretano y policarbonatos<sup>3,4</sup>- constituyen aproximadamente el 30% de la producción. Estos son particularmente difíciles de reciclar y están hechos de materiales potencialmente tóxicos. El PVC es utilizado en la construcción, en sistemas de tuberías para el transporte de agua de consumo humano; el poliestireno es utilizado para el envasado de alimentos; el poliuretano en muebles y el policarbonato en electrónicos. Las industrias del cuidado de la salud y los electrónicos ya están reemplazando el PVC que se utilizaba en bolsas de goteo intravenoso y computadoras con materiales más seguros, durables y reciclables como el polipropileno y el aluminio.

El cambio en la clasificación de los plásticos podría ayudar de manera inmediata a la limpieza de numerosos hábitats afectados, empleando fondos gubernamentales. En los Estados Unidos, por ejemplo, el Acta para la Respuesta Ambiental Exhaustiva, Compensación y Responsabilidad de 1980 permitiría a la EPA limpiar la vasta acumulación de plástico que contamina los hábitats terrestres, marinos y de agua dulce que se encuentran dentro de la jurisdicción de esta agencia.

**REACCIÓN EN CADENA**

La Historia demuestra que este enfoque funciona. Los clorofluorocarbonos (CFCs) y otros compuestos orgánicos persistentes fueron reclasificados como materiales peligrosos en el Protocolo de Montreal en 1989 y en la Convención de Estocolmo en 2004, respectivamente. Esto llevo, en cada caso, a que cerca de 200 países detuvieran la producción de unos 30 grupos de compuestos que fueron reemplazados con compuestos más seguros. En el caso de los CFCs la producción se detuvo completamente en siete años.

Nuestros críticos argumentan que, sin evidencia de daño catastrófico a la salud o al ambiente, es exagerado equiparar los plásticos con los CFCs y otras sustancias clasificadas como tóxicas. Nosotros no estamos de acuerdo. Creemos que son las industrias manufactureras de plásticos junto con las de alimentos y textiles que dependen en gran medida de este tipo de materiales, quiénes deberían demostrar que sus productos y empaques son seguros. Este tipo de requisitos son exigidos de manera rutinaria a las industrias farmacéuticas y de alimentos por las directivas de numerosas agencias, incluidas la Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos y la Agencia Europea de Medicamentos.

En última instancia, los cambios en las regulaciones deben estar dirigidos a el desarrollo de un sistema de retroalimentación en el cuál los plásticos sean reusados y reciclados. En la actualidad la mayor parte de los desechos plásticos llegan a tiraderos que filtran compuestos de los plásticos hacia los hábitats circundantes<sup>4</sup>. En todo el mundo el reciclaje de plásticos está en aumento. Por ejemplo,





entre 2005 y 2010 el reciclaje de plásticos aumentó en los Estados Unidos y el Reino Unido en 4 y 9% respectivamente. Sin embargo, los esfuerzos actuales por 'reducir, reusar, reciclar' ocasionan otros problemas. Frecuentemente, el reciclaje, incluye el uso de plásticos como combustible para la producción de energía que es utilizada para diferentes propósitos, pero la incineración de plásticos puede generar contaminantes prioritarios y gases de efecto invernadero. En un sistema de retroalimentación los plásticos serían reutilizados de manera continua y sustituidos únicamente cuando estuvieran extremadamente degradados -de manera análoga al reuso de botellas de vidrio que llevaba a cabo la industria de lácteos en el Reino Unido desde finales de 1800 hasta mediados de 1990.

Mucha gente piensa que reemplazar con plásticos materiales como madera y vidrio para producir bienes más ligeros puede ayudar a enfrentar el cambio climático. Sin embargo, los beneficios deben ponerse en la balanza con el impacto negativo de los plásticos de manera que estos solamente sean utilizados cuando tengan menores huellas de carbono y ecológica que las alternativas. Otros pueden argumentar que, en la actual crisis de la economía global, las naciones no pueden darse el lujo de regular una industria que, solamente en los Estados Unidos, tiene ganancias de 1 billón de dólares y genera 1.1 millones de empleos. Sin embargo, tratar los residuos plásticos tiene un costo enorme; remover la basura en las costas de Estados Unidos cuesta a los contribuyentes alrededor de 520 millones de dólares cada año y la mayor parte de esta está formada por plásticos. Adicionalmente, la producción de materiales más seguros estimula la innovación y la generación de empleos en las áreas de investigación y desarrollo. De hecho, en los últimos tres años, debido a la presión de los cabilderos y la percepción de que las prácticas actuales no son sustentables, algunas empresas manufactureras han apostado por sistemas de retroalimentación.

Si las actuales tasas de consumo se mantienen, el planeta almacenará otras 33 mil millones de toneladas de plásticos para

2050. Con esta cantidad se llenarían 2.75 mil millones de camiones recolectores de basura que, si se colocaran en fila formarían una línea de alrededor de 800 veces la circunferencia del planeta. Nosotros estimamos que los desechos se reducirían a sólo 4 mil millones de toneladas si los plásticos más problemáticos se clasificaran inmediatamente como residuos peligrosos y fueran reemplazados por materiales reusables y más seguros en la próxima década.

**Chelsea M. Rochman** trabaja en la Escuela de Medicina Veterinaria en la Universidad de California en Davies, E.U. **Mark Anthony Brown** trabaja en el Centro Nacional para la Síntesis y Análisis Ecológico en Santa Bárbara, California, E.U. **Benjamin S. Halpern**, **Brian T. Hentschel**, **Eunha Hoh**, **Hrissi K. Karapanagioti**, **Lorena M. Rios-Mendoza**, **Hideshige Takada**, **Swée Teh**, **Richard C. Thompson**.

e-mails: [cmrochman@ucdavis.edu](mailto:cmrochman@ucdavis.edu); [browne@nceas.ucsb.edu](mailto:browne@nceas.ucsb.edu)

1. Uhrin, A. V. & Schellinger, J. Mar. Pollut. Bull. 62, 2605–2610 (2011).
2. Browne, M. A., Dissanayake, A., Galloway, T. S., Lowe, D. M. & Thompson, R. C. Environ. Sci. Technol. 42, 5026–5031 (2008).
3. Lithner, D., Larsson, A. & Dave, G. Sci. Total Environ. 409, 3309–3324 (2011).
4. Teuten, E. L. et al. Phil. Trans. R. Soc. B 364, 2027–2045 (2009).
5. Rochman, C. M., Hoh, E., Hentschel, B. T. & Kaye, S. Environ. Sci. Technol. <http://dx.doi.org/10.1021/es303700s> (2012).
6. Browne, M. A. et al. Environ. Sci. Technol. 45, 9175–9179 (2011).
7. Pauly, J. L. et al. Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev. 7, 419–428 (1998).
8. Mettang, T. et al. Nephrol. Dial. Transpl. 11, 2439–2443 (1996).
9. vom Saal, F. S. & Hughes, C. Environ. Health Perspect. 113, 926–933 (2005).
10. Gaylor, M. O., Harvey, E. & Hale, R. C. Chemosphere 86, 500–505 (2012).

Material adicional para este artículo en [go.nature.com/p8sgip](http://go.nature.com/p8sgip).