

La comunicación de la nanotecnología del carbono como una herramienta para impulsar el pensamiento crítico en la educación química preuniversitaria

The communication of carbon nanotechnology as a tool to promote critical thinking in pre-university chemistry education

Jorge Meinguer Ledesma*

ABSTRACT: This paper describes a methodological strategy to communicate general information on carbon nanotechnology in the context of teaching high school chemistry. The proposal is the result of incorporating texts from the public communication of science to the school environment to promote elements of critical thinking on the subject. The article discusses the importance of divulging aspects related to carbon nanotechnology in chemical education, the value that is associated with the use of media sources to promote a critical response to scientific topics with broad social relevance, as is the case of nanotechnology, the effectiveness of the implemented strategy and its implications for the development of a scientific culture.

KEYWORDS: carbon nanotechnology, critical thinking, chemical education, public communication of science, scientific culture.

RESUMEN: En este trabajo se expone una estrategia metodológica para comunicar generalidades sobre la nanotecnología del carbono en el contexto de la enseñanza de la química en el bachillerato. La propuesta es el resultado de incorporar textos provenientes de la comunicación pública de la ciencia al ámbito escolar para promover elementos de pensamiento crítico sobre el tema. En el artículo se discute, la importancia de divulgar aspectos relacionados con la nanotecnología del carbono en la educación química, el valor que se asocia al uso de fuentes mediáticas para promover una respuesta crítica hacia temas científicos con amplia relevancia social, como es el caso de la nanotecnología, la efectividad de la estrategia implementada y sus implicaciones en el fomento de una cultura científica.

PALABRAS CLAVE: nanotecnología del carbono, pensamiento crítico, educación química, comunicación pública de la ciencia, cultura científica.

Introducción

Los antecedentes de esta investigación se presentan en tres subapartados. En el primero de ellos se discute el valor que tiene divulgar cuestiones rela-

Recibido: 4 de octubre de 2017.

Aceptado: 10 de abril de 2018.

* Universidad Nacional Autónoma de México, Colegio de Ciencias y Humanidades, México.
Correspondencia: (jormeinguer@yahoo.com.mx).



cionadas con la nanotecnología en la educación científica, en el segundo se muestra la conexión existente entre el tema central de este estudio, la nanotecnología del carbono, con el proceso de enseñanza de la química. Por último, se analiza la relevancia educativa de fomentar el análisis crítico del discurso mediático sobre ciencia y tecnología al referenciar temas científicos de frontera en las aulas.

La comunicación de la nanotecnología en la educación científica

En años recientes, la nanociencia y la nanotecnología han adquirido relevancia en los ámbitos de la investigación, la divulgación y la educación científica. La razón se debe tanto a la cantidad como a la pertinencia de los desarrollos e investigaciones que este campo de conocimientos está produciendo en diferentes rubros de amplia relevancia social, como es el caso del desarrollo de medicamentos, la ciencia de materiales, el diseño de nuevos dispositivos electrónicos y el cuidado del medio ambiente, por mencionar algunos. Los avances en la investigación nano han sido tan destacados en las últimas dos décadas, que algunos autores proyectan a esta área de conocimientos como un pilar de la siguiente revolución tecnológica (Takeuchi, 2009; Serena, 2013).

La nanociencia se ocupa de caracterizar y explicar el comportamiento de la materia en la escala nanoscópica (1×10^{-9} m), lo que implica situar su marco de acción en el mundo de los átomos y las moléculas. Específicamente, su función más sustantiva es estudiar los procesos que ocurren en las estructuras con un tamaño entre 1 y 100 nm, las cuales se conocen como nanoestructuras (Takeuchi y Basiyk, 2011). Por su parte, la nanotecnología utiliza los conocimientos que genera la nanociencia para diseñar y fabricar nuevos materiales o dispositivos con una finalidad práctica (Alonso, 2008).

Un aspecto a resaltar de la nanotecnología es su carácter multidisciplinario, pues en ella convergen especialistas de diferentes áreas científicas como químicos, físicos, matemáticos, ingenieros, biólogos y médicos, pero también expertos de las ciencias sociales y las humanidades en el análisis de su gobernanza, impacto social, implicaciones éticas y comunicación. Al ser un área multisectorial cubre aspectos sociocientíficos de diversa índole e interés en el mundo contemporáneo. Es por ello que es una de las líneas de investigación que recibe mayor reconocimiento, financiamiento y respaldo en las sociedades altamente industrializadas (Kleike, 2009).

Como resultado de la inversión y la acumulación de conocimientos en la investigación nano, han comenzado a incorporarse de forma paulatina a la sociedad bienes de consumo basados en la nanotecnología. Un hecho que está originando debates y discusiones en diferentes foros sobre aspectos medioambientales, éticos, toxicológicos, laborales, económicos e inclusive legales (Delgado, 2008). Como respuesta, diversos organismos internacionales, como la Unión Europea, están incluyendo en su agenda científica, la implementación

de programas enfocados a monitorear, así como a regular los posibles efectos negativos asociados con la nanotecnología en la actividad industrial, la salud y el medio ambiente (Krug y Wick, 2011). También, se han realizado estudios vinculados con su gobernanza (Delgado, Kjølberg y Wickson, 2011), establecido instancias para acercar a la población con esta temática y promover códigos de conducta que regulen su discusión en la esfera de lo público y, finalmente, se han elaborado iniciativas para su comunicación en la educación científica en el ámbito formal e informal (Serena, 2014).

En el escenario educativo, la comunicación de la nanotecnología se devela como una labor pertinente porque permite ofrecer una visión actualizada de los avances que genera la ciencia, así como formar vocaciones científicas en el campo (Castellini *et al.*, 2007). Concretamente, su abordaje posibilita mostrar una gama de aplicaciones científicas y tecnológicas que amplían el horizonte en la forma de concebir las relaciones entre lo natural, lo artificial y el ser humano. Tomando en consideración lo reportado en la literatura (Sánchez-Mora y Tagüeña, 2011; Serena, 2014.), la enseñanza y divulgación de la nanotecnología requieren de estrategias que faciliten la adquisición de un vocabulario específico, la comprensión de procedimientos científicos implicados en su desarrollo, así como el reconocimiento de sus alcances y problemática asociada. Además, deben contribuir a hacer frente a una serie de obstáculos epistemológicos que se asocian con la difusión de esta temática en general, los cuales son resumidos por Serena (2014) en el siguiente listado:

- La explicación de procesos, fenómenos, y sistemas en una escala de tamaño sumamente pequeña.
- La ineludible presencia de conceptos abstractos provenientes de la mecánica cuántica al hacer referencia a las propiedades de la materia en la escala nanoscópica.
- El carácter multidisciplinar de la nanociencia y la nanotecnología.
- La existencia de efectos cuya explicación está vinculada con el tamaño y la forma de los objetos.
- La existencia de ideas previas (muchas veces erróneas) acerca de la nanotecnología y las entidades que involucra su estudio (átomos y moléculas).

Como se puede advertir, la comunicación de la nanotecnología en el contexto de la educación tanto formal como informal reviste complejidad debido a que implica el aprendizaje de terminología, conceptos y aspectos contextuales que no suelen ser de dominio público. Para aminorar esta problemática, algunos autores proponen hacer uso de un discurso analógico que permita hacer comparaciones adecuadas entre fenómenos y propiedades que se dan en el mundo de lo nano con situaciones perceptibles o de la vida cotidiana, así como el uso de modelos para representar nanosistemas y nanoestructuras (Blonder, 2010).

Lo forma de dar tratamiento a los contenidos disciplinares relacionados con la nanotecnología dependerá del grado escolar y los objetivos de aprendizaje de una asignatura en cuestión. En la literatura se menciona que se pueden abordar temas de naturaleza cuántica con diferentes grados de profundidad, al explicar las propiedades o funciones de materiales nanoestructurados en el nivel medio y superior, mientras que en la enseñanza básica se recomienda relacionar al mundo nano con la medición y el control de lo pequeño, es decir, indagar sobre las implicaciones de la nanoescala en la caracterización de objetos (Ribeiro y de Souza, 2015; Sánchez-Mora y Tagüeña, 2011). No obstante, existe convergencia sobre dos aspectos necesarios en la divulgación de la nanotecnología a todos niveles, el adecuado uso de modelos y la continua referencia a la connotación, tecnológica y social del tema.

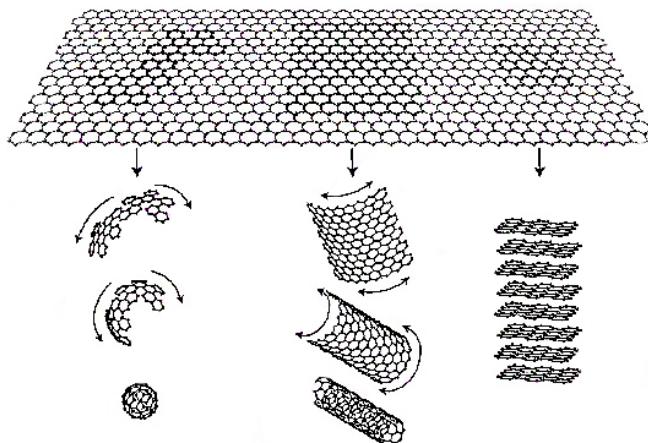
Relevancia del estudio de la nanotecnología del carbono en la enseñanza de la química

Un tipo de materiales que han cobrado importancia en el campo de la investigación nano son las nanoestructuras de carbono, pues por sus inusitadas propiedades fisicoquímicas pueden dar lugar a múltiples aplicaciones tecnológicas. El carbono es un elemento muy abundante en la naturaleza, se puede encontrar en los combustibles fósiles, en las minas, disuelto en agua, en la atmósfera y en los seres vivos. Tiene una gran facilidad para unirse consigo mismo y con otros elementos al punto de formar más de diez millones de moléculas diferentes, la mayoría de naturaleza covalente, además, posee la propiedad de allotropía, es decir, podemos encontrarlo en la superficie terrestre en varias formas físicas siendo las más comunes: el carbón vegetal, el grafito y el diamante.

Algunas nanoestructuras de carbono tienen su origen en el grafito, lo cual constituye una enorme ventaja, pues es un material abundante, barato y manipulable. Cuando láminas o capas de este material adquieren una forma enrollada, se forman los denominados nanotubos de carbono, un tipo de nanoestructuras que se caracterizan por su alta resistencia a la tracción. Por otra parte, cuando lo que se tiene son nanomateriales de carbono cerrados tipo jaula se habla de fullerenos, moléculas que pueden encapsular en su interior átomos de diferentes elementos como los metales. Finalmente, si se aísla solamente una capa o lámina de grafito, el resultado es un material de un átomo de espesor al que se le denomina grafeno, en el cual los electrones circulan a velocidades cercanas a la de la luz (Takeuchi, 2009). Estas tres, son las nanoestructuras más representativas del campo de la nanotecnología del carbono (NC). (Véase la figura 1).

Lo que hace relevante y atractiva esta línea de investigación, en particular, es que los nanomateriales antes mencionados revisten propiedades que distan mucho de lo que puede ofrecer el carbono en la escala macroscópica. En el nivel nano, algunas nanoestructuras de carbono conducen la electricidad de forma eficiente, son elásticas y de alta dureza, mientras que otras

FIGURA 1. Grafeno como unidad estructural de las distintas formas alotrópicas del carbono grafitico.



Fuente: Tomada de Geim y Novoselov (2007).

tienen la capacidad de encapsular, adsorber y transportar átomos de otros elementos o fragmentos moleculares, como el principio activo de un medicamento. Un dato que respalda la importancia disciplinar que posee la NC es que en su desarrollo se han otorgado dos premios Nobel, el correspondiente a química en el año de 1996 a Robert F. Curl, Harold, W. Kroto (1939-2016) y Richard E. Smalley (1943-2005) por el descubrimiento de los fullerenos, y, más recientemente, el de física en el año 2010 a Andre Geim y Kostya Novoselov por el aislamiento y caracterización del grafeno.

En el contexto de la educación química, la comunicación de la NC resulta oportuna y apremiante porque al estar centrada en uno de los elementos químicos más representativos, permite mostrar a los estudiantes cómo la investigación en torno a este elemento químico ha tomado nuevas directrices y el importante papel que juega la química en el avance de la nanotecnología en general. Cuestiones que dotan de actualidad al proceso de enseñanza de esta ciencia y promueven la construcción de aprendizajes significativos. Otro aspecto a resaltar es que al ser un campo de investigación emergente con fuertes implicaciones tecnológicas, éticas y sociales puede dar lugar al debate, así como a la participación informada. Aspectos inherentes a la formación de una cultura científica (Pardo, 2014). En congruencia con lo anterior, algunos autores sugieren que la mejor forma de abordar en el entorno escolar aspectos relacionados con la nanotecnología es mediante el enfoque CTS-A (ciencia, tecnología, sociedad y ambiente) (Reviglio, 2014). Debido a que esta perspectiva educativa constituye un marco de referencia apropiado para emprender una enseñanza de la química con perspectiva social, pues potencia la comprensión de la importancia y la utilidad del conocimiento científico en la vida más allá del aula (Aikenhead, 2005).

Por lo expuesto con anterioridad, promover estrategias de divulgación de la NC en el contexto de la educación química es una labor altamente beneficiosa porque posibilita la formación de ciudadanos capaces de comprender los procedimientos científicos implicados en el campo, los alcances, riesgos y beneficios de esta área de conocimientos, el debate ético que le acompaña, así como la adquisición de aptitudes intelectuales que permitan fincar una discusión informada sobre el tema.

El desarrollo del pensamiento crítico a través del análisis de textos provenientes de los medios de comunicación

En el contexto de la sociedad del conocimiento y la información, el desarrollo de facultades relacionadas con la consulta, manejo e interpretación de los mensajes y contenidos que circulan en los medios informativos se ha convertido en una cuestión con fuertes implicaciones educativas. Razón por la cual, importantes organizaciones vinculadas con la educación, UNESCO (2006), la OCDE (2012), se esfuerzan por crear sinergias que coadyuven al reconocimiento, así como a la utilización de los medios de comunicación en los nuevos escenarios de aprendizaje. Pues sostienen que, promover una formación integral que contemple la interpretación de los discursos mediáticos representa una línea de acción decisiva en el empoderamiento personal y colectivo.

En congruencia con lo anterior, divulgadores y educadores coinciden en que los textos provenientes de la comunicación pública de la ciencia son recursos valiosos porque su análisis puede promover opiniones informadas sobre el acontecer científico, incrementar el interés por la ciencia e impulsar la construcción de aprendizajes significativos (Calvo, 2003; Gadea, Vilchis y Gil, 2009). Específicamente, en el ámbito escolar existen algunos trabajos que dan cuenta de las ventajas que provee el empleo de este tipo de información. En ellos, se menciona su uso como fuentes que complementan el aprendizaje, como herramientas didácticas e inclusive como un objeto de investigación (Blanco, 2004).

Algunos autores han propuesto utilizar el potencial de estos recursos textuales para fomentar el pensamiento crítico (PC) en las clases de ciencias (Norris, Phillips y Korpan, 2003; McClune y Jarman, 2010; Oliveras y Santmartí 2013). La idea de promover el PC hacia el discurso mediático sobre ciencia y tecnología se fundamenta en tres razones. La primera de ellas se relaciona con el hecho de que estos recursos textuales representan una de las vías principales con las que los estudiantes mantendrán contacto con el desarrollo científico fuera de las aulas independientemente de su grado escolar o perfil profesional. La segunda, con que suelen abordar temáticas de frontera, las cuales además de dotar de actualidad al proceso de enseñanza de las disciplinas científicas son de interés público o ciudadano, pues su análisis involucra la consideración de derechos, intereses y obligaciones. Finalmente, la tercera se asocia con la alta carga de subjetividad que caracteriza al dis-

curso mediático, una cuestión que puede moldear malintencionadamente las opiniones e inclusive las acciones de las personas (Meinguer, 2016). Por consiguiente, resulta crucial preparar a los alumnos desde la escuela para interpretar meticulosa y reflexivamente este tipo de publicaciones, así como para usar la información consultada responsablemente.

En el presente estudio se asume como definición del PC la propuesta de Richard Paul y Linda Elder (2006), representantes de la *Critical Thinking Community*, según la cual, el PC es un modo de pensar sobre cualquier tema, contenido o problema en el que un sujeto mejora la calidad de su pensamiento inicial. Desde esta perspectiva, la criticidad se puede contemplar como un proceso intelectual encaminado al análisis o problematización racional de un tema, fenómeno o hecho de interés cotidiano, cuyo propósito es generar cuestionamientos, mejores juicios o razonamiento y contribuir a la entereza intelectual de las personas (Paul y Elder, 2007). En esta conceptualización, un pensador crítico se distingue por desarrollar los siguientes rasgos intelectuales:

- Formula problemas y preguntas vitales, con claridad y precisión.
- Acumula, maneja, evalúa información relevante y usa ideas abstractas para interpretar esa información efectivamente.
- Llega a conclusiones o soluciones, probándolas con criterios y estándares relevantes.
- Piensa con una mente abierta dentro de los sistemas alternos de pensamiento.
- Reconoce y valora, según es necesario, los supuestos, implicaciones y consecuencias prácticas alrededor de un tema.
- Muestra autocontrol, esfuerzo permanente y búsqueda de alternativas.
- Al idear soluciones a problemas complejos, se comunica efectivamente.
- Su proceder intelectual suele estar guiado por una serie de hábitos que favorecen la responsabilidad intelectual (Paul y Elder, 2007).

Como se puede advertir, el PC invita a pensar arribando a conclusiones, a asumir una posición y defenderla con argumentos válidos, a transferir ideas a contextos cambiantes, así como a identificar inconsistencias o contradicciones en el razonamiento para su restructuración. Con el fin de promover el PC sobre la NC a través del análisis de textos informales, en esta investigación se tomó como referente teórico-metodológico el enfoque propuesto por Jarman y McClune (2007) y McClune y Jarman (2010). La razón es que permite impulsar de manera progresiva las aptitudes intelectuales inherentes a la noción de PC asumida. Este modelo operacional es el resultado de una serie de entrevistas realizadas a un panel de expertos (especialistas en periodismo científico, investigadores educativos, profesores de ciencias y del área de comunicación)

para establecer perfiles de aprendizaje al analizar textos informativos. Según sus autores, para que los estudiantes se posicionen críticamente frente a este tipo de textos, es necesario que articulen de forma coherente aprendizajes provenientes de cuatro dominios: conocimientos sobre ciencia, habilidades, la ciencia en los medios y actitudes (véase la figura 2).

El primer dominio es el más amplio, pues tiene que ver con el manejo adecuado de terminología, conceptos, conocimientos sobre naturaleza de la ciencia —los cursos de acción que siguen los científicos y los medios de los que se valen para validar nuevos conocimientos—, así como del contexto de aplicación de una temática en particular y sus implicaciones (relaciones CTS-A); el segundo con habilidades de lectura, escritura e interpretación; el tercero está relacionado con la comprensión de preceptos básicos que caracterizan a los textos de naturaleza mediática; mientras que el cuarto con el proceder ético e intelectual tanto en el análisis como en el manejo de la información. En conjunto, este modelo representa un programa amplio y sistemático para impulsar un posicionamiento crítico hacia el discurso mediático sobre ciencia y tecnología (McClune y Jarman (2010).

Metodología

Diseño de la investigación

El estudio se llevó a cabo con dos grupos de una institución pública de nivel medio superior, la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Sur (ENCCH-Sur), la cual forma parte del bachillerato de la Universi-

FIGURA 2. Diagrama ilustrativo de la pasivación de una nanopartícula de plata con los aniones [BH⁻] provenientes del borohidruro de sodio.



Fuente. McClune y Jarman (2010).

TABLA 1. Características de la muestra de estudiantes encuestados en la comunicación de las NC.

| Grupo | Turno | Edad promedio (años) | Integración por género Varones / Mujeres | Total alumnos | No. de equipos de trabajo |
|----------------|----------|----------------------|---|---------------|---------------------------|
| I | Matutino | 17 | 9 / 17 | 26 | 6 |
| II | Matutino | 18 | 10 / 14 | 24 | 6 |
| Totales | | | 19 / 31 | 50 | 12 |

Fuente: Elaboración del autor.

dad Nacional Autónoma de México (UNAM). La propuesta de comunicación del tema se implementó en las clases del cuarto curso de química de la ENCCH-Sur. La asignatura en cuestión está centrada en el estudio de sustancias y materiales que tienen como base estructural al elemento carbono, se imparte en el último semestre de este bachillerato y tiene un enfoque pro-pedagógico, por lo que puede considerarse un curso preuniversitario de química orgánica. En el plan de estudios actualizado de esta materia se da pauta a referenciar estudios e investigaciones sobre desarrollos tecnológicos ligados con la química del carbono (CCH, 2016), un hecho que dotó de pertinencia al abordaje de la NC.

Como se indica en la tabla 1, las dos aulas de trabajo fueron divididas en seis equipos conformados por cuatro a cinco integrantes. De esta forma quedaron constituidas doce agrupaciones, cuyo desempeño fue la base para dar seguimiento al aprovechamiento en el trabajo cooperativo ($n = 12$). En el caso de las actividades que involucraron la evaluación individual, la muestra total de estudiantes quedó conformada por cincuenta estudiantes ($N = 50$).

El material de lectura seleccionado para dar tratamiento al tema fue el artículo divulgativo “Grafeno ¿la siguiente revolución tecnológica?” escrito por Murray, G. (2012) para la publicación *¿Cómo ves?*, la revista más representativa de divulgación científica en la UNAM. Este recurso fue seleccionado porque permite ofrecer un panorama general de la NC y su línea discursiva se apega a los cánones de la comunicación pública de la ciencia. Una cuestión a destacar sobre este recurso textual es que en su redacción se realizan una serie de proyecciones a futuro sobre el papel de la NC en el ámbito tecnológico, las cuales resultan idóneas para alentar a los estudiantes a indagar, investigar, así como a argumentar en torno a su validez, es decir, para desarrollar un posicionamiento crítico sobre el tema.

El enfoque didáctico que se siguió en el proceso de análisis textual estuvo basado en el trabajo cooperativo, actividades dialógicas y la mediación docente como una vía en la autorregulación del aprendizaje, esto es, en estrategias pedagógicas abiertas, flexibles y horizontales acordes con la enseñanza del pensamiento crítico (pc) (Gordillo, 2005). En la literatura educativa se menciona que, cuando el aprendizaje en una estrategia de lectura está cimentado en la colaboración, la planificación de situaciones dialógicas y escenarios

deliberativos, se fomenta el desarrollo de habilidades de orden superior como analizar, juzgar, inferir y razonar de forma coherente (Oliveras y Sanmartí, 2009). De esto se sigue la pertinencia de plantear actividades y preguntas abiertas que induzcan a los estudiantes a la discusión de sus posibles soluciones, a la reflexión, así como a la metacognición (Paul y Elder, 2007).

Secuencia de actividades

La labor metodológica reportada en este estudio se efectuó en cuatro sesiones de dos horas, ocho horas totales. Las actividades para dar cauce al análisis del material de lectura seleccionado se diseñaron tomando como referencia cuatro etapas: exploración de ideas previas y contextualización; análisis disciplinar del texto; problematización contextual, y, evaluación argumentativa. Las primeras tres se llevaron a cabo de forma cooperativa, es decir, en una dinámica de pequeños grupos ($n = 12$). Mientras que, la argumentación global del tema se monitoreó de forma individual ($N = 50$). Las cuatro fases antes mencionadas, se describen a continuación.

- a) *Exploración de ideas previas y contextualización.* Representa la etapa de apertura en el análisis de la publicación. Consistió en recabar asociaciones conceptuales alrededor de la NC tomando únicamente como referencia el título, los subtítulos y las imágenes presentes en el texto, así como la identificación de su autoría. También permitió contextualizar, esto es, comunicar a los estudiantes metas de aprendizaje por cubrir, discutir la relación que existe entre la temática abordada con la química estudiada en clase y el valor de arribar a posiciones críticas en su análisis.
- b) *Análisis disciplinar.* En esta segunda fase metodológica se plantearon actividades para que los estudiantes reconocieran la relevancia disciplinar del tema. Esto con el propósito de que activaran una base conceptual previamente adquirida en las clases de química en su interpretación. Varios autores han señalado que, sin la activación y el dominio de un modelo disciplinar, la lectura de un texto informal carece de sentido o rigor suficiente para arribar a opiniones informadas (Norris y Phillips, 2003).
- c) *Análisis contextual.* Se elaboraron reactivos y actividades para que los alumnos problematizaran el material de lectura. Concretamente, los estudiantes realizaron una breve investigación documental en espacios periodísticos reconocidos para contrastar información, identificar implicaciones y consecuencias, así como para tomar en consideración diferentes puntos de vista alrededor del tema. Aunado a ello, resolvieron reactivos que buscaban explorar aprendizajes sobre Ndc y con preceptos básicos alrededor del discurso mediático sobre ciencia y tecnología.

- d) *Elaboración y evaluación de argumentos.* Se estableció como estrategia para evaluar lo conseguido en materia de argumentación, la elaboración individual de un ensayo final (N = 50). En este escrito, los alumnos debían adoptar una postura sobre la importancia del estudio del grafeno (material en el que está basado el artículo divulgativo revisado en clase) en el curso de química y defenderla. Se sabe que los estudiantes de este nivel de estudio no están acostumbrados a argumentar en las clases de ciencias (Jiménez–Aleixandre, 2012). Razón por la cual, se determinó apoyarlos al realizar esta actividad ofreciéndoles pautas de redacción. Adicionalmente, se elaboró una rúbrica que permitiera evaluar de forma precisa lo conseguido en este rubro y que fuera consistente con el trabajo realizado por los estudiantes.

En la tabla 2, se esquematiza el tipo de actividades que emprendieron los estudiantes en cada una de las cuatro sesiones que comprendió el proceso de análisis textual, así como el tiempo aproximado en su realización.

TABLA 2. Descripción de las actividades realizadas por sesión.

| Nº sesión / Modalidad | Tiempo / Actividades | | |
|--|---|---|---|
| 1 / Trabajo cooperativo (n = 12) | 30 minutos | 30-60 minutos | 60-120 minutos |
| | <ul style="list-style-type: none"> Exploración de ideas previas. Contextualización | <ul style="list-style-type: none"> Lectura individual del texto. Resolución de dudas. | <ul style="list-style-type: none"> Análisis disciplinar del texto (I): Noción de allotropía. Descripción de la estructura y enlace de las nanoestructuras de carbono a las que se hace referencia en la publicación. |
| 2 / Trabajo cooperativo (n = 12) | 30 minutos | | 30-120 minutos |
| | <ul style="list-style-type: none"> Análisis disciplinar del texto (II): Relevancia de la NC en el estudio de la química. | <ul style="list-style-type: none"> Problematización contextual del material de lectura (I): Investigación documental (relación cts-A). Juego de rol para dar seguimiento a aprendizajes sobre NDC. | |
| 3 / Trabajo cooperativo (n = 12) e individual (N = 50) | 60 minutos | | 60-120 minutos |
| | <ul style="list-style-type: none"> Problematización contextual del material de lectura (II) : Discusión de información y resolución de reactivos sobre el perfil de aprendizaje “la ciencia en los medios”. | | <ul style="list-style-type: none"> Argumentación (I): Presentación a los estudiantes del formato y las pautas a seguir en la elaboración del producto para evaluar la argumentación individual sobre el tema –ensayo final–. Tiempo para estructurar el 1er borrador del ensayo final. (Actividad individual). |
| 4 / Trabajo en pares e individual (N = 50) | 60 minutos | | 60-120 minutos |
| | <ul style="list-style-type: none"> Argumentación (II): Co-evaluación del 1er borrador del ensayo final con una rúbrica y dinámica basada en la discusión en pares. | | <ul style="list-style-type: none"> Argumentación (III): Corrección y obtención de la versión final del ensayo. (Actividad individual). |

Fuente: Elaboración del autor.

Reconocimiento y valoración del pensamiento crítico en torno a la NC

Los productos analizados para reconocer el desarrollo de elementos de PC sobre el tema fueron los veinticuatro reactivos que dieron cauce al proceso de análisis textual (anexo 1), así como los ensayos recabados de forma individual. Las respuestas obtenidas en los reactivos y el aprovechamiento observado en las sesiones de trabajo se valoraron tomando en consideración los indicadores de aprendizaje del enfoque que se tomó como referente metodológico al diseñar las actividades plantadas —el modelo operacional de Jarman y McClune— (anexo 2). Por su parte, la evaluación de los ensayos se realizó con una rúbrica de elaboración propia, cuya efectividad fue probada en sesiones que precedieron la labor metodológica reportada en esta investigación (anexo 3).

Como se ha mencionado, los indicadores de aprendizaje aluden a cuatro categorías de análisis: conocimientos sobre ciencia, habilidades, la ciencia en los medios y actitudes. Para dar un seguimiento al aprovechamiento que se puede conseguir en cada una de ellas, los indicadores se agruparon en tres niveles de desempeño: básico, intermedio y avanzado. Debido a que, en este enfoque de trabajo se conceptualiza al PC como una virtud intelectual, esto es, como una capacidad emergente y progresiva (Meinguer, 2015), el esquema de evaluación prioriza un análisis cualitativo del aprendizaje. En consecuencia, el nivel que pueda alcanzarse dependerá de la edad, las habilidades, el desempeño académico y, sobre todo, de la experiencia tanto de los alumnos como de los docentes en la utilización de este tipo de fuentes en el trabajo escolar (McClune y Jarman (2010).

En lo concerniente a la rúbrica para evaluar lo conseguido en argumentación, esta contempla ocho rubros: 1) vocabulario, 2) información disciplinar, 3) información contextual, 4) postura, 5) coherencia, 6) justificación, 7) contraargumentación, y, 8) actitud reflexiva. En conjunto, este recurso cubre los aspectos esenciales que se considera debe cumplir un sujeto al exponer de manera coherente y fundamentada un argumento o conclusión (Walton, 1999). Para dar seguimiento al aprovechamiento conseguido en cada subapartado, se asocia un puntaje que oscila entre 1 y 4. De forma que, la puntuación de 1 indica un ejercicio argumentativo deficiente, la calificación de 2 hace alusión a un desempeño suficiente, de 3 a regular y un puntaje de 4 denota una ejecución óptima.

Resultados

Los resultados de este estudio son presentados en el siguiente orden: a) exploración de ideas previas; b) aprovechamiento obtenido en los cuatro ejes que dieron cauce al proceso de análisis textual, y, c) argumentación. La conjunción de los logros conseguidos en estos tres apartados constituyen la evidencia que permite sostener el desarrollo de elementos de PC.

a) Exploración de ideas previas

Se observó que, la mayoría de las agrupaciones (más del 80%) fue capaz de identificar de manera correcta datos relacionados con la autoría y procedencia editorial de la publicación revisada en el salón de clases. Sin embargo, en los reactivos que solicitaban exponer ideas sobre la naturaleza de la fuente donde se extrajo el texto, se obtuvieron respuestas ambiguas. Por ejemplo, uno de los problemas más comunes fue que los alumnos no pudieron explicar con claridad la función divulgativa de la revista a la que pertenecía el artículo o la definieron incorrectamente como una publicación científica.

Al referenciar el tema central del material de lectura, la mayoría de los equipos de trabajo se limitaron a parafrasear el título o los subtítulos de este, un indicio de que sus ideas previas sobre la nanotecnología del carbono (NC) eran limitadas. Las asociaciones conceptuales más recurrentes que se establecieron en relación con el tema fueron la noción de allotropía y de nanotecnología previamente discutidas en clase. En general, los estudiantes explicitaron de forma correcta la relación que guarda el tema con el estudio de la química del carbono.

b) Aprovechamiento en las categorías de análisis del texto

En la mayoría de los ejes de análisis, se obtuvo un desempeño escolar que fue ubicado en un nivel intermedio, con excepción de lo conseguido en el rubro actitudinal donde los resultados se situaron en el nivel avanzado. En la tabla 3, se muestran los resultados conseguidos en cada perfil de aprendizaje y se representan gráficamente en la figura 3.

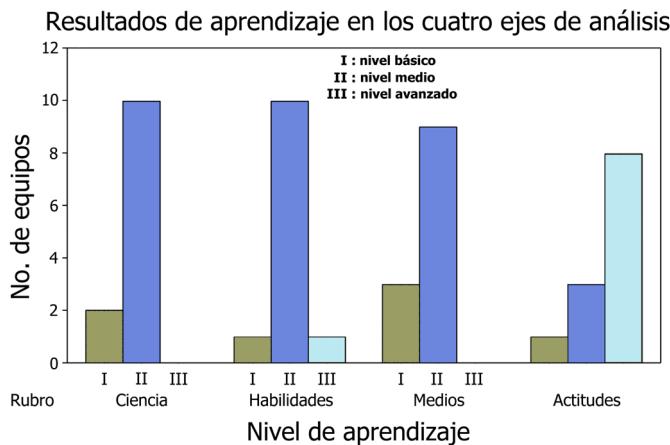
Los resultados obtenidos en el primer dominio indican que los estudiantes fueron capaces de activar y construir aprendizajes suficientes en la interpretación del tema. Específicamente, los jóvenes pudieron establecer semejanzas y diferencias estructurales entre las nanoestructuras de carbono

TABLA 3. Desempeño escolar en los cuatro ejes de análisis en el proceso de análisis textual (n = 12).

| Categoría de análisis | N. Básico | % | N. Medio | % | N. Avanzado | % |
|-----------------------------|-----------|-------|------------|-------|-------------|-------|
| Conocimientos sobre Ciencia | 2 equipos | 16.66 | 10 equipos | 83.33 | 0 | 0 |
| Habilidades | 1 equipo | 8.33 | 10 equipos | 83.33 | 1 equipo | 8.33 |
| Ciencia en los medios | 3 equipos | 25 | 9 equipos | 75.0 | 0 | 0 |
| Actitudes | 1 equipo | 8.33 | 3 equipos | 25.0 | 8 equipos | 66.66 |

Fuente: Elaboración del autor.

FIGURA 3. Resultados de aprendizaje conseguidos en el proceso de análisis textual.



Fuente: Elaboración del autor.

citadas en la publicación (grafeno, nanotubos y fullerenos) y el grafito (material macroscópico que las engloba), una cuestión que redituó en la comprensión de sus propiedades, así como en el sentido de algunas de sus aplicaciones. Asimismo, mencionaron que el valor científico de las nanoestructuras de carbono estriba en la caracterización que se ha reportado sobre sus propiedades físicoquímicas, no así en sus posibles aplicaciones tecnológicas a las que atinadamente catalogaron como proyecciones a futuro. Finalmente, en lo respectivo a la relación CTS–A, se encontró una continua referencia a trabajos que están señalando los posibles efectos toxicológicos que los nanomateriales de carbono pueden provocar en el ramo de la salud y el medio ambiente, el amplio financiamiento que recibe esta línea de investigación y su potencial de revolucionar la industria de los electrónicos.

En lo que respecta al segundo eje de análisis, no se identificaron obstáculos relacionados con vocabulario o terminología que minaran la interpretación de la información consultada sobre el tema. La razón de haber situado el aprovechamiento en un nivel intermedio se debió a las limitadas habilidades de redacción que imperan en el bachillerato. Un dato a destacar que se desprende del trabajo de campo realizado en este apartado fue que la petición de argumentos en contra del tema elevó el nivel de su discusión y el grado de reflexión en su internalización.

Gracias a que se incentivó el análisis sobre la función, las ventajas y las desventajas del texto revisado en clase, en las actividades enmarcadas dentro del tercer rubro de aprendizaje denominado la ciencia en los medios, los estudiantes dieron muestra de reconocer la alta carga de subjetividad que caracteriza al discurso mediático sobre ciencia y tecnología. Esto, al señalar que el artículo divulgativo no recoge todos los puntos de vista que se consideran

relevantes alrededor del tema, pues omite o hace poca referencia a las implicaciones socioambientales que se están investigando alrededor de la NC. Lo anterior, fomentó prudencia y cautela en su interpretación, una cuestión que resultó favorable en el logro de un posicionamiento crítico hacia el tema.

En el ámbito actitudinal se consiguieron los mejores resultados, pues los jóvenes cubrieron satisfactoriamente con la mayoría de las disposiciones demarcadas en su evaluación. No obstante, es importante tener en cuenta que son los logros menos tangibles debido a la complejidad que acompaña a la valoración de este tipo de aprendizajes. Conforme fue avanzando el proceso de análisis textual, se pudo constatar el desarrollo de un escepticismo saludable (moderado) y un aumento en el grado de asertividad en la elaboración de argumentos. En adición a esto, se observó de manera constante apertura a la temática abordada como a las fuentes de consulta utilizadas, respeto, tolerancia y disposición a intercambiar información e ideas con responsabilidad.

c) Argumentación

La habilidad de argumentar en este trabajo se entiende como el proceso de arribar a una conclusión y defenderla con base en razones. Resulta arriesgado sostener que se ha desarrollado pensamiento crítico sin otorgar importancia a la argumentación, ya que esta habilidad refleja en gran medida el entendimiento que se puede construir sobre un tema. Como se ha señalado, esta aptitud se evaluó de forma individual ($N = 50$) con la elaboración de un ensayo al dar cierre a la metodología. Las puntuaciones obtenidas en la rúbrica diseñada para la evaluación de este producto final se presentan a continuación (se muestran algunos ensayos obtenidos por los estudiantes en el anexo IV).

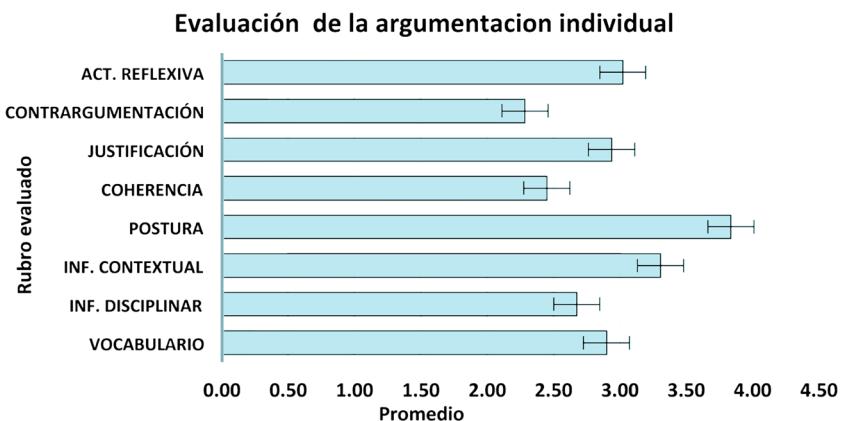
Como se puede observar en la gráfica de la figura 4, los puntajes más bajos corresponden a los rubros contrargumentación y coherencia. En el

TABLA 4. Promedio de los elementos contemplados en la evaluación de la argumentación individual sobre el tema ($N = 50$).

| Rubros a evaluar (ensayo final) | Promedio (\bar{X}) y desv. estándar (σ) |
|---------------------------------|--|
| Vocabulario | 2.90 ± 0.30 |
| Información disciplinaria | 2.67 ± 0.61 |
| Información contextual | 3.31 ± 0.84 |
| Postura | 3.84 ± 0.37 |
| Coherencia | 2.45 ± 0.50 |
| Justificación | 2.94 ± 0.62 |
| Contrargumentación | 2.29 ± 0.45 |
| Actitud reflexiva | 3.02 ± 0.72 |
| Puntuación total | $23.41 \pm 1.73 (73.16\%)$ |

Fuente: Elaboración del autor.

FIGURA 4. Promedios de los elementos evaluados en los escritos finales (N = 50).



Fuente: Elaboración del autor.

primer caso, el resultado indica que a los estudiantes les costó mucho trabajo referenciar puntos de vista contrarios a la posición que defendían en su ensayo o información que se considera problemática sobre el tema, pero la consideraron. Por su parte, la baja puntuación en lo relativo a coherencia se explica por una problemática que se ha mencionado reiteradamente, la escasa habilidad de redacción que exhiben los alumnos de bachillerato.

Al revisar los ensayos se obtuvo un puntaje promedio de 23.41, un valor que indica que se cubrieron alrededor del 73% de las habilidades presentes en la rúbrica de evaluación, lo que permitió situar el desempeño obtenido en un nivel muy próximo al regular. En estos escritos fue posible identificar que los alumnos lograron recopilar y valorar información relevante sobre el tema, considerar diferentes puntos de vista en su análisis, establecer acuerdos y desacuerdos, reconsiderar afirmaciones, construir una opinión informada, así como mantener una actitud reflexiva en su defensa. Rasgos que apuntan al desarrollo del PC.

Finalmente, para corroborar si el desempeño individual conseguido en materia de argumentación fue consistente con la labor realizada en equipo, se cotejaron las evaluaciones obtenidas en los ensayos en las doce agrupaciones. Se encontró que en nueve de los equipos la media grupal calculada era muy cercana al valor promedio conseguido en la evaluación individual (23.41). Un resultado que indicó uniformidad en el ejercicio argumentativo (figura 5).

Como se puede observar en la figura 5, únicamente en tres casos, se observó disparidad, un equipo con un rendimiento destacado (superior a los 25 puntos) y dos que estuvieron por debajo de la media estadística tomada como base en la comparación. En general, los alumnos cumplieron satisfactoriamente con las expectativas trazadas en argumentación.

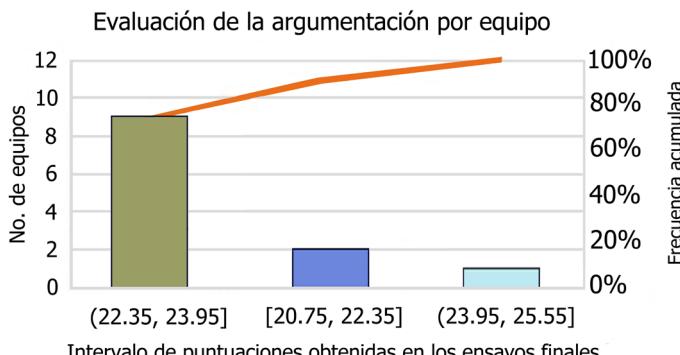
Discusión de resultados

Lo reportado en esta investigación muestra que promover aprendizajes hacia temáticas científicas de frontera con fuertes implicaciones tecnológicas y socioculturales, como la nanotecnología, mediante el análisis crítico de información presente en los medios, es una labor compleja y demandante. Pues requiere de un trabajo sistematizado que contemple la articulación de conocimientos y aptitudes que vayan más allá del dominio disciplinar de un tema. Por otra parte, al ser el pensamiento crítico (PC) un constructo intelectual cimentado en una formación basada en el desarrollo de virtudes tanto cognitivas como disposicionales, su adquisición requiere de experiencia y trabajo continuo. Por lo tanto, no puede considerarse como un resultado negativo, el haber conseguido un nivel de aprovechamiento intermedio en las categorías de aprendizaje que se cubrió para impulsar su desarrollo. Especialistas en el campo de la enseñanza del PC han señalado que, para la obtención de resultados exitosos es necesario incorporar este tipo de pensamiento como un elemento transversal en los programas de estudio, así como formar profesores que cuenten con una formación suficiente en su promoción (Herrera, 2008). Para que este planteamiento adquiera fuerza, resulta apremiante ofrecer más y mejores prácticas, lo realizado en este estudio es una apuesta en esa dirección.

Se considera que son tres las aportaciones más importantes que se desprenden de este trabajo al campo de la educación química. La primera de ellas tiene que ver con la temática abordada, la cual robustece y dota de actualidad al proceso de enseñanza-aprendizaje de la química. La segunda con la estrategia que se siguió para promover la argumentación hacia el tema y la tercera con el fomento de una cultura científica en el escenario escolar.

En lo referente al tema disciplinar que guió esta investigación, el haber comunicado aspectos generales sobre la NC ayudó a que los estudiantes com-

FIGURA 5. Resultados obtenidos al promediar los ensayos finales por equipo (n = 12).



Fuente: Elaboración del autor.

prendieran cómo ha evolucionado la química del carbono, tomando nuevas rutas de acción que distan mucho de sus cánones tradicionales. Por ejemplo, al ahondar y contrastar información disciplinar sobre el tema, los jóvenes pudieron percibirse de la fuerte connotación instrumental que reviste la caracterización de las propiedades del carbono en la nanoescala. También que la búsqueda de aplicaciones de estas propiedades no es un asunto exclusivo de la química, converge en ello con la física, la ciencia de materiales, la ingeniería molecular, la biología e inclusive con la medicina. Resultó muy conveniente impulsar el entendimiento de la importancia que tiene la interdisciplinariedad en la investigación nano, pues en un rasgo muy distintivo no solamente de este campo sino de la ciencia contemporánea en general.

Por otro lado, gracias a que se evidenció la relación CTS–A en el proceso de análisis textual, fue posible referenciar en el salón de clases investigaciones y productos tecnológicos de vanguardia, impulsar el reconocimiento de algunas implicaciones socioambientales en torno al tema y mostrar su dimensión sustentable. Una labor que coadyuvó a ofrecer una imagen de la química del carbono como un área útil y confiable en la resolución efectiva de problemas. Cuando se muestra la relevancia que tiene la química en el ámbito social se contribuye a mejorar su imagen pública. Una tarea que es ampliamente compartida por investigadores, docentes y divulgadores cuyo ejercicio profesional está relacionado con esta importante disciplina (NAS, 2016).

Otra ventaja a resaltar sobre el tratamiento de la NC en la educación química es que invita a los docentes a renfocar su perspectiva de la enseñanza de esta ciencia y, con ello, a otorgar mayor importancia a contenidos que guardan relación con la estructura de la materia. En el estudio de la nanotecnología resulta sustancial evidenciar la conexión existente entre las propiedades de los materiales con su tamaño, es decir, abordar en el salón de clases aspectos relacionados con el mundo cuántico. Al llevar a cabo lo anterior, no solamente se contribuye a que los estudiantes de bachillerato comprendan importantes fenómenos químicos que tienen lugar en la escala “nano” como la catálisis, la adsorción y algunos procesos de síntesis de nuevos materiales, también, permite unificar criterios explicativos en el tratamiento de contenidos disciplinares que son considerados torales, como es el caso del enlace químico y la geometría molecular.

La segunda cuestión que se defiende de la propuesta metodológica descrita es la estrategia que se trazó para promover la argumentación. Se encontró que cuando se apoya a los estudiantes a poner en práctica esta labor intelectual discutiendo aspectos sobre su relevancia en el análisis de información mediática, ofreciéndoles pautas a seguir y estableciendo criterios en su valoración que sean consistentes con los objetivos de aprendizaje, se pueden conseguir resultados favorables. Incentivar la aptitud de argumentar reforzó el dominio conceptual del tema, amplió el horizonte en su interpretación y la responsabilidad en su aprendizaje. De hecho, lo realizado al respecto es un elemento distintivo de este estudio en comparación con otros

trabajos afines en el campo (Norris y Phillips, 2003; Gordillo, 2005; Oliveras y Sanmartí 2009; 2013), ya que robustece el trabajo metodológico en torno a esta habilidad y propone un instrumento de evaluación más preciso en su evaluación. Sin embargo, se considera que aún hay mucho que aportar en esta área. Para ello, resulta crucial elaborar un análisis profundo y de connotaciones filosóficas sobre la relación existente entre el PC, la argumentación y el aprendizaje.

Otros aspectos relacionados con el quehacer argumentativo y, que se consideran aportaciones de este trabajo al análisis crítico de la ciencia en los medios son la amplitud en la revisión del texto divulgativo y el dar cuenta de lo conseguido en el rubro actitudinal. En el primer caso se comprobó que la articulación de los aprendizajes resultantes de los cuatro rubros en los que se basó la metodología reportada dotó de rigor y coherencia al entendimiento del tema. En relación con el segundo, se sostiene que, si no se impulsa y valora el aprendizaje actitudinal en el proceso de análisis del discurso mediático sobre ciencia y tecnología, lo que se está incentivando en el aula es el razonamiento reflexivo o analítico, pero la condición de criticidad en el pensamiento queda desvirtuada, debido a que esta posee un fuerte componente disposicional (Paul y Elder, 2007).

La tercera aportación de este trabajo se asocia con el fomento de una cultura científica en el ámbito escolar. En la literatura se menciona que, cuando se hace uso del conocimiento científico para comprender dinámicas sociales, problemáticas socioambientales, innovaciones tecnológicas, tomar decisiones o armonizar la vida social, se está contribuyendo al desarrollo de una cultura científica (Estrada, 2014). Se sostiene que lo reportado en este trabajo promueve este objetivo por la importancia que se le dio al análisis del contexto del tema, así como por el tipo y los alcances de las aptitudes intelectuales inherentes a la formación de la criticidad. En el primer caso, la utilización de fuentes mediáticas y el tipo de temas que se decidió cubrir posibilitó que los estudiantes encontraran significados sociales en torno a la NC. En lo relativo a habilidades y actitudes, promover el desarrollo del PC dota a los estudiantes de un núcleo de capacidades que favorecen la participación informada en materia de ciencia y tecnología, como es el caso de cuestionar, valorar, contrastar, discernir, argumentar, así como actuar de forma autónoma y responsable. Todas ellas, aptitudes altamente beneficiosas en el ejercicio intelectual y que pueden ser transferibles a la vida social.

Conclusiones

La nanotecnología es un área de conocimientos de naturaleza interdisciplinar cuyos productos e investigaciones tienen el potencial de incrementar la calidad de vida de las personas y contribuir al cuidado ambiental. Una de sus rutas de acción más representativas es la síntesis y caracterización de materiales cuya base estructural es el carbono, un elemento cuyo estudio tiene

una relación histórica con la química. Se espera que, en un futuro no muy lejano, este tipo de nanoestructuras genere aplicaciones innovadoras en el ámbito de la salud, la ciencia de materiales, la industria de los electrónicos y el campo de las energías renovables.

Por lo anterior, es importante contar con estrategias divulgativas de la NC en particular y de la nanotecnología en general en el contexto de la educación formal e informal. En esta investigación se ha propuesto utilizar recursos informales —textos provenientes de los medios de comunicación— para promover una interpretación crítica de esta temática en el marco de la educación química preuniversitaria. Esta labor hizo posible que los estudiantes ampliaran su comprensión del entorno científico y tecnológico actual, que adquirieran habilidades que los capacitan en el manejo de información, así como el desarrollo de actitudes inherentes a la participación informada. Logros que se relacionan con el fomento de una cultura científica.

Finalmente, se puede aseverar que promover el desarrollo del PC en el estudio de la NC en la educación química preuniversitaria contribuye a fomentar el entendimiento y la reflexión sobre la importancia, retos e implicaciones que reviste esta fascinante línea de investigación, dotando con ello de actualidad y sentido al proceso de enseñanza de esta ciencia. Además, permite mostrar lo conveniente que es reforzar el vínculo entre la comunicación pública de la ciencia y la educación científica al abordar cuestiones científicas de frontera.

Referencias

- Aikenhead, G. (2005). Educación ciencia-tecnología-sociedad (cts): una buena idea como quiera que se le llame. *Educación Química*, 16(2): 114-124.
- Alonso-Núñez, G. (2008). Nanoquímica: ingeniería de nanomateriales, *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 1(1): 45-50.
- Blanco, A. (2004). Relaciones entre la educación científica y la divulgación de la ciencia, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencia*, 1(2): 70-86.
- Blonder, R. (2010). The influence of a teaching model in nanotechnology on chemistry teachers' knowledge and their teaching attitudes. *Journal of Nano Education*, 2(1-2): 67-75. <https://doi.org/10.1166/jne.2010.1004>
- Calvo, M. (2003). *Divulgación y periodismo científico: entre la claridad y la exactitud*, Colección Divulgación para Divulgadores. México: DGDC-UNAM.
- Castellini, O., Walejko, G., Holladay, E., Theim, T., Zenner, G., y Crone, W. (2007). Nanotechnology and the public: Effectively communicating nanoscale science and engineering concepts. *Journal of Nanoparticle Research*, 9(2): 183-189. <https://doi.org/10.1007/s11051-006-9160-z>
- CCH (2016). *Programas de Estudio de Ciencias Experimentales: Química III-IV, UNAM*. http://www.cch.unam.mx/sites/default/files/programas2016/QUIMICA_III_IV.pdf
- Delgado, G. (2008). *Guerra por lo invisible. Negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*. México: CEIICH-UNAM.

- Delgado, A., Kjølberg, K. y Wickson, F. (2011). Public engagement coming of age: From theory to practice in STS encounters with nanotechnology. *Public understanding of science*, 20(6):826-845.https://doi.org/10.1177/0963662510363054
- Estrada, L. (2014). La comunicación de la ciencia. *Revista Digital Universitaria*, 15 (3). <http://www.revista.unam.mx/vol.15/num3/art18/index.html>
- Gadea, I., Vilches, A. y Gil, D. (2009). Posibles usos de la prensa en la educación científica y tecnológica. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 23: 153-169.
- Geim A., Novoselov K. (2007). The raise of graphene. *Nature materials*, 6: 186-191.
- Gordillo, M. (2005). Cultura científica y participación ciudadana: materiales para la educación CTS. *Revista iberoamericana de ciencia, tecnología y sociedad*, 2(6): 123-135.
- Herrera, A. (2008). La situación de la enseñanza del pensamiento crítico. Pasado, presente y futuro de la enseñanza del pensamiento crítico en México. *Razón comunicada V/ Ergo* (Nueva época), 15-50.
- Jarman, R. y McClune, B. (2007). *Developing Scientific Literacy: Using News Media In The Classroom*. McGraw-Hill Education (UK).
- Jarman, R. y McClune, B. (2011). *El desarrollo del alfabetismo científico. El uso de los media en el aula*, Morata/ Ministerio de Educación de España, Madrid.
- Jiménez-Aleixandre, M. y Puig, B. (2012). Argumentation, evidence evaluation and critical thinking. En *Second international handbook of science education*. Springer Netherlands, 1001-1015.
- Kleike, J. (2009). *National Nanotechnology Initiative: Assessment and Recommendations*. Nueva York: Nova Science Pub. Inc.
- Krug, H. y Wick, P. (2011). Nanotoxicology: An interdisciplinary challenge. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(6): 1260-1278.
<https://doi.org/10.1002/anie.201001037>
- Meinguer, J. (2015). La virtud, un paradigma filosófico loable en la educación química. *Educación química*, 26(1): 43-49.
- Meinguer, J. (2016). La lectura crítica de las cuestiones socio-científicas en los medios de comunicación. *Eutopía*, 9(25): 53-61.
- McClune, B. y Jarman, R. (2010). Critical reading science-based news reports: Establishing a knowledge, skills and attitudes framework. *International Journal of Science Education*, 32(6): 727-752. <https://doi.org/10.1080/09500690902777402>
- Murray, G. (2012). Grafeno: ¿La siguiente revolución tecnológica? *¿Cómo ves?* 164: 22-25.
- NAS (National Academies of Sciences) (2016). *Effective Chemistry Communication in Informal Environments*, Washington, DC: The National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/21790>
- Norris, S., Phillips, L. y Korpan, C. (2003). University students' interpretation of media reports of science and its relationship to background knowledge, interest, and reading difficulty. *Public Understanding of Science*, 12(2): 123-145.
<https://doi.org/10.1177/09636625030122001>
- OECD (2012). *Education Today 2013: The OECD Perspective*, OECD Publishing. http://www.oecd-ilibrary.org/education/education-today_22190430

- Oliveras, B. Sanmartí, N. (2009). La lectura como medio para desarrollar el pensamiento crítico. *Educación Química*, 20(1): 233-245.
- Oliveras, B., Márquez, C. y Sanmartí, N. (2013). The use of newspaper articles as a tool to develop critical thinking in science classes. *International Journal of Science Education*, 35(6): 885-905.
- Paul, R. y Elder, L. (2006). *The miniature guide to critical thinking-concepts & tools*. The Foundation for Critical Thinking. https://www.criticalthinking.org/files/Concepts_Tools.pdf (Consultado, mayo 20, 2014).
- Paul, R. y Elder, L. (2007). *A guide for educators to critical thinking competency standards*. Foundation for Critical Thinking. <https://www.criticalthinking.org/store/products/critical-thinking-competency-standards-for-educators/227> (Consultado en 2015).
- Pardo, R. (2014). De la alfabetización científica a la cultura científica: un nuevo modelo de apropiación social de la ciencia. En Laspra, B., y Muñoz, E. (eds.), *Culturas Científicas e Innovadoras, Progreso Social*. Buenos Aires: Eudeba, 39-72.
- Reviglio, A. (2014). Por qué y para qué enseñar nanotecnología en las escuelas. En Silvestri, S., Munuce, A. y Alassia, M., *Nanotecnología hoy: el desafío de conocer y enseñar*. Buenos Aires: Ministerio de educación de la Nación, 159-183.
- Ribeiro, A. y de Souza, M. (2014). Proyecto de ambientes innovadores de enseñanza y la propuesta del laboratorio de formación interdisciplinaria de educadores en nanociencia y nanotecnología-LIFENano/IFSP. *MOMENTO Revista Física*, (49E), 38-48.
- Sánchez-Mora, C. y Tagüeña, J. (2011). El manejo de las escalas como obstáculo epistemológico en la divulgación de la nanociencia. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencias y Nanotecnología*, 4(2): 83-102.
- Serena, P. (2013). Acerando la nanotecnología a la sociedad: la exposición un paseo por el nanomundo, *Revista Digital Universitaria*, 14(4). <http://www.revista.unam.mx/vol.14/num4/art29/index.html>
- Serena, P. 2014. Algunas cuestiones a tener en cuenta en los procesos de comunicación de la nanotecnología. En Serena, P., Giraldo, N., Takeuchi, N. y Tutor J. (eds.), *Guía didáctica para la enseñanza de la nanotecnología en la educación secundaria*. Madrid: nanoDYF.
- Takeuchi, N. (2009). *Nanociencia y nanotecnología, la construcción de un mundo mejor átomo por átomo*. México: FCE (Colección Ciencia para Todos).
- Takeuchi, N. y Basiuk, V. (2011). Investigación de nanoestructuras de carbono en México. En Takeuchi, N. (ed.), *Nanociencia y Nanotecnología*, 21-41, Colección Aprender a Aprender, CEIICH, CNYN, UNAM, México: CEIICH-UNAM.
- UNESCO (2006). *Media education. A kit for teachers students, parents and professionals*. París: L'exprimeur. <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001492/149278e.pdf>
- Walton, D. (1999). *Informal logic. A handbook for critical argumentation*, Cambridge University Press, Nueva York.

ANEXO I

Secuencia de actividades

I. Exploración de conocimientos previos y contextualización

SESIÓN I

De forma individual responde los siguientes reactivos que tienen como finalidad familiarizarte con el tema y material de la lectura.

1. ¿Quién es el autor o los autores de esta publicación? Busca en el texto información al respecto.
2. ¿A qué fuente editorial pertenece este artículo? ¿Qué sabes sobre la revista de donde fue extraído el texto?
3. Realiza una lectura completa e individual del texto. Posteriormente, efectúa las siguientes actividades:
 - a) Subraya las palabras o expresiones que no entiendas y enlístalas para su discusión grupal.
 - b) Escribe dos cosas del artículo que conozcas con seguridad, explícalas brevemente.
4. En una extensión de máximo cinco renglones describe con tus propias palabras la idea central de este texto.
5. ¿Encuentras relación entre este material de lectura y lo estudiado en el curso de Química IV? Justifica tu respuesta

Tiempo estimado: 30 minutos

► Contextualización de la estrategia de comunicación y aclaración de dudas

Después de la lectura individual del texto, el docente, a través de una presentación, da a conocer de forma sintética los objetivos y resultados esperados de esta estrategia de análisis textual. Posteriormente, fomenta y guía una discusión que permita aclarar el mayor número de dudas expresadas por alumnos sobre el texto.

Tiempo estimado: 30 minutos

II. Análisis disciplinar

6. Dado que el grafeno tiene su origen en el grafito, ambas nanoestructuras comparten características químicas en su descripción estructural. En función de lo revisado en clase, señala estas características comunes llenando la siguiente tabla:

Descripción estructural del grafito y el grafeno

| Molécula | No. de dominios electrónicos alrededor de cada átomo de carbono | Tipo de dominios electrónicos (enlaces) | Geometría | Ángulos de enlace | Hibridación |
|-------------------|---|---|-----------|-------------------|-------------|
| Grafito y grafeno | | | | | |

7. En el texto se menciona que el grafeno es una forma alotrópica del carbono ¿Qué significa esto? Argumenta tu respuesta.
8. Si el grafito y el grafeno comparten las mismas características químicas en su descripción estructural. Contesta:
 - a) ¿Por qué difieren tanto en sus propiedades fisicoquímicas? (clave: piensen en la estructura global de ambos materiales y la escala de medida donde están descritos).
 - b) En el texto se menciona que el grafeno tiene primos (nanoestructuras muy similares). ¿Quiénes son?
 - Mira las animaciones en el blog del curso sobre los primos del grafeno. Posteriormente, explica sus diferencias.

- Busca información en internet sobre algunas aplicaciones actuales de los primos del grafeno.

Tiempo estimado: 60 minutos

SESIÓN II

9. Identifica los temas o contenidos que tienen relación con el estudio de la química en la publicación, descríbelos brevemente y contesta: ¿Cuál es la importancia de la lectura de este recurso textual en el curso de Química IV? No olvides justificar tu respuesta.
10. Busca en el texto tres experimentos o investigaciones que usan los autores como evidencia para sostener la afirmación de que el grafeno es un “material maravilloso” y explícalos brevemente (no olvides incluir en esta descripción la institución y/o a los científicos que se les atribuyen tales descubrimientos).
11. ¿A qué conclusión llegan los autores con la evidencia empírica presentada?
12. ¿Por qué crees que los autores realizaron esta publicación? No olvides justificar tu respuesta.

Tiempo estimado: 30 minutos

III. Problematización contextual del material de lectura

Como se ha indicado, uno de los objetivos de este proceso de lectura es fomentar una comprensión crítica de las NC. Para ello, es fundamental no creer totalmente en la información presente en el texto revisado en clase sino contrastarla y valorarla al consultar otras fuentes. Realiza una breve investigación alrededor del grafeno consultando en internet portales periodísticos o divulgativos, en específico, busca información sobre los siguientes rubros:

- I. Su financiamiento (quiénes patrocinan la investigación sobre grafeno).
- II. Sus aplicaciones reales.
- III. El número de patentes que se han producido sobre el grafeno, los países o empresas líderes en este campo.
- IV. Problemática asociada (ambiental, sanitaria, ética, etc.).

Cada integrante del equipo debe investigar sobre uno de los cuatro rubros antes mencionados, sintetizar su información en media cuartilla y citar la fuente que le fue de mayor utilidad. Posteriormente, en equipo, deberán discutir y organizar la información recabada para efectuar las siguientes actividades:

13. Elaboren un argumento a favor y otro en contra sobre el grafeno u otra nanoestructura de carbono citada en la publicación, (ambos deben poseer base científica, es decir, un dato o un experimento que los respalde).
14. Reflexionen por unos minutos y construyan una pregunta que les gustaría hacer a los autores del texto revisado en clase.
15. Con lo que saben hasta el momento ¿Cuál es su posición sobre la conclusión que ofrecen los autores del artículo divulgativo? Para cualquier inciso que escojan como respuesta, es necesario que argumenten, es decir, que ofrezcan razones que justifiquen su elección.
 - a) Totalmente a favor de los autores...
 - b) Totalmente en contra de los autores...
 - c) Parcialmente a favor de los autores (existen desacuerdos mínimos)...
 - d) Parcialmente en contra de los autores (existen coincidencias mínimas)...

► **El docente entrega a cada equipo de trabajo de manera escrita, la redacción de un juego de rol en donde se solicita dar respuesta a los siguientes reactivos para dar seguimiento a aprendizajes del perfil naturaleza de la ciencia (NdeC).**

16. ¿Está lo suficientemente comprobado todo lo que se habla sobre la nanotecnología del carbono en los medios de comunicación? Proporcionen una respuesta elaborada.
17. Realiza una breve investigación sobre los riesgos asociados con las nanoestructuras de carbono estudiadas en clase. Condensa tu respuesta a este reactivo en una redacción clara y concisa (no mayor a 10 renglones).
18. Según lo investigado: ¿Cuáles son los medios que utilizan los científicos para validar y respaldar los conocimientos que se producen en la investigación sobre nanoestructuras de carbono? Describálos brevemente.
19. ¿Cuál de los siguientes incisos concuerda mejor con su idea de lo que es la investigación científica? Para cualquier inciso que escojan como respuesta, es necesario argumentarla, es decir, ofrecer razones que justifiquen su elección.
 - a) Una actividad que construye conocimientos ciertos, acabados e irrefutables.
 - b) Una actividad que produce conocimientos cuya validez depende exclusivamente de los intereses creados por grupos, instituciones, empresas o gobiernos
 - c) Una actividad que construye conocimientos controvertidos, provisionales (en revisión continua) y que pueden modificarse a través del tiempo por el consenso de una comunidad.
 - d) Ninguna de las anteriores

Importante: No contesten precipitadamente, reflexionen individual y grupalmente sobre sus respuestas.

Tiempo estimado: 90 minutos

SESIÓN III

► **Conocimiento de la ciencia en los medios**

El siguiente cuadro, les recordará sus clases de taller lectura... pero, para desarrollar una comprensión crítica de un texto, es necesario conocer cuestiones básicas sobre la fuente de donde proviene.

Los artículos relacionados con la ciencia en los medios se suelen caracterizar por:

- *Tratar temas científicos que sean mediáticos o populares (tecnología, medio ambiente, salud, sexualidad, etc.).*
- *Cubren investigaciones novedosas y recientes —ciencia que se está haciendo—, las cuales difícilmente figuran en los currículos escolares.*
- *Poseen una narrativa más cercana a la literatura que al discurso formal usado por los científicos, lo que los hace productos comprensibles para casi todo tipo de público.*
- *Su finalidad no es estrictamente educar sino informar, persuadir, entretenery en ocasiones hasta divertir.*
- *Son útiles como fuentes de partida para adentrarse en un tema científico de interés, pues suelen abordar investigaciones complejas de forma superficial y poco objetiva.*
- *Aunque muchas veces afirman ser imparciales. Los mensajes o textos de ciencia en los medios transmiten valores y puntos de vista de los autores, editorial o instituciones que los respaldan.*
- *Se elaboran con finalidades o intenciones específicas, por ejemplo, crear conciencia o controversia que derive en el apoyo o rechazo social a una línea de investigación en particular.*

Reúnanse de nuevo en equipo y discutan brevemente la información presente en el cuadro. Asimismo, trabajen cooperativamente para dar solución a las siguientes preguntas relacionadas con la forma en como es presentada la información en el material de lectura analizado.

20. Comparen el estilo con que se ofrece la información en el artículo divulgativo (*Grafeno ¿la siguiente revolución tecnológica?*) con la de un libro de texto de química convencional. En función de ello, mencionen por lo menos dos ventajas y dos desventajas que poseen las fuentes científicas informativas frente a los libros de texto.
21. ¿Consideran que el artículo divulgativo trabajado en clase está equilibrado (recoge todos los puntos de vista que son relevantes sobre el grafeno)? Justifiquen su respuesta.
22. ¿Creen que el material de lectura utilizado trata de influir o persuadir a los lectores para que tomen partido por la opinión de los autores? Si es el caso, menciona algunos hechos que corroboren esta tendencia.
23. ¿Es su opinión el punto de vista que ofrecen los autores sobre el grafeno está más cerca de ser positivo y defendible o negativo y condenable? Argumenten su respuesta.
24. ¿Consideran que el uso de materiales provenientes del campo de la comunicación de la ciencia (textos divulgativos y periodísticos) facilitó o dificultó sus aprendizajes sobre el tema? Justifica tu respuesta.

Tiempo estimado: 60 minutos

IV. Argumentación

SESIÓN III

► Elaboración de un escrito final

Como cierre de esta estrategia de lectura, los alumnos realizaron un ensayo final (**actividad individual**), donde mostraron una posición informada sobre el tema. Justifica tu respuesta.

a) Pautas para la realización del ensayo final

| Estructura argumentativa | Pautas a considerar en la redacción... |
|--|--|
| 1. Idea de partida o posición manifiesta | Mostrar una posición respecto a la relevancia que posee el estudio de la NC en el cuarto curso de química de la ENCCH-UNAM |
| 2. Evidencias (datos, hechos, cifras) | <ul style="list-style-type: none">► Relación de la NC con la química del carbono (manejo disciplinar de la información).► El estudio de la NC contribuye a la formación en química de un estudiante... por qué...► El tema tiene significado en la vida cotidiana... por qué... (importancia tecnológica, ambiental, social, cultural del tema). |
| 3. Contrargumentos y/o refutaciones | Problemática asociada en torno a la NC (cuestiones negativas, controvertidas o delicadas a considerar en el análisis del tema). |
| 4. Reconsideración de afirmaciones | Valoración de los aspectos positivos y negativos expuestos sobre la NC. Incorporación de información alternativa (por ejemplo, conocimientos o beneficios que el estudio de la NC pudiera generar en áreas ajenas a la química) |
| 5. Conclusiones | Por lo tanto concluyo que... |

El tiempo restante se otorgó a los estudiantes para que comenzaran a construir su ensayo. También, para resolver dudas de forma individual en torno al escrito final. Se les solicita que terminen el ensayo reflexivamente en casa y lo entreguen al inicio de la siguiente sesión.

Tiempo aproximado: 60 minutos

SESIÓN IV

► Coevaluación del ensayo final

Intercambia tu ensayo con el compañero/a que te indique el profesor, se llevará a cabo un proceso de co-evaluación para mejorar la calidad del primer borrador de tu escrito.

Nombre del redactor/a _____

| Criterios de evaluación | Sí | R | No | ¿Qué aconsejarías para mejorarlo? |
|---|----|---|----|-----------------------------------|
| 1. ¿Manifiesta una posición de forma clara? | | | | |
| 2. ¿En el texto se identifica con claridad la relación del tema con la química del carbono? (Se hace uso de información química de forma correcta y adecuada) | | | | |
| 3. ¿Las evidencias (datos y experimento sobre el gra-feno) que ofrece para defender su punto de vista tienen base científica? | | | | |
| 4. ¿Sus razones o argumentos te parecen suficientes, confiables y bien elaborados? | | | | |
| 5. ¿Su texto está escrito de forma coherente, precisa y clara? | | | | |
| 6. ¿Refuta y/o hace alusión a información contro-vertida o contraria a su punto de vista? | | | | |
| 7. ¿Su conclusión es consecuencia de los argu-mentos expuestos? | | | | |
| 8. ¿El texto te convence? | | | | |

Nombre del evaluador/a _____

Tiempo aproximado: 60 minutos

ANEXO II

Indicadores de aprendizaje utilizados en la evaluación de los perfiles de aprendizaje cubiertos al promover el pensamiento crítico¹

1. Conocimientos sobre ciencia

| Conocimientos sobre Ciencia | Nivel básico (1) | Nivel medio (2) | Nivel avanzado (3) |
|---|---|---|--|
| a) Conocimientos disciplinarios o conceptuales | <ul style="list-style-type: none">Los estudiantes construyen sus conocimientos disciplinarios sobre un tema a partir de las ideas y la terminología presente en el texto. | <ul style="list-style-type: none">Los estudiantes poseen conocimientos básicos que les permiten hacer frente al tema y vocabulario científico presente en el texto. | <ul style="list-style-type: none">Los estudiantes tienen la capacidad propia de evaluar la información científica que se presenta en una publicación y de auxiliarse de otras fuentes académicas. |
| b) Conocimientos sobre la naturaleza de la investigación científica | <ul style="list-style-type: none">Los estudiantes adquieren una idea básica de lo que es la investigación científica al realizar investigaciones documentales sencillas. | <ul style="list-style-type: none">Los estudiantes deben tener conciencia de cómo se desarrolla la investigación científica, incluyendo el proceso de revisión/ discusión por pares y la incertidumbre asociada. | <ul style="list-style-type: none">Los estudiantes además de reconocer cómo se desarrolla la ciencia en las comunidades científicas, identifican los intereses alrededor de una temática en particular y cómo se ven reflejados en una publicación informativa. |
| c) Conocimientos sobre ciencia y sociedad | <ul style="list-style-type: none">Los estudiantes deben ser conscientes de que la ciencia se aplica en la vida cotidiana. | <ul style="list-style-type: none">Los estudiantes deben saber que la aplicación de la ciencia en la sociedad no siempre es directa y puede suscitar cuestiones éticas y morales. | <ul style="list-style-type: none">Los estudiantes deben reconocer el alcance, las limitaciones y el riesgo asociado que reviste la ciencia presente en los medios de comunicación. |

2. Habilidades

3. La ciencia en los medios

NIVEL BÁSICO (1)

- Los estudiantes muestran habilidades deficientes para leer y comprender la información textual, así como para interpretar recursos presentes en la publicación (imágenes, graficas, tablas, modelos, etc.).

NIVEL INTERMEDIO (2)

- Los estudiantes son capaces de examinar los textos para identificar datos impor-

¹ Los indicadores de aprendizaje fueron tomados de: Jarman, R. y McClune, B. 2011. *El desarrollo del alfabetismo científico. El uso de los media en el aula*. Morata/ Ministerio de Educación de España, Madrid.

tantes, enunciados principales, seguir una cadena de razonamiento, reconocer enunciados de opinión y de persuasión.

- ▶ Los estudiantes reconocen la necesidad de consultar varias fuentes al analizar la información presente en un texto científico informal.

NIVEL AVANZADO (3)

- ▶ Los estudiantes deben ser capaces de explicar, de manera clara e informada, las cuestiones sobre las que estén de acuerdo o en desacuerdo con los puntos de vista presentados en una publicación.

4. Actitudes

NIVEL BÁSICO (1)

- ▶ Los estudiantes deben entusiasmarse e interesarse por descubrir más aspectos de la ciencia en los medios, y entender que estas fuentes pueden alertarlos sobre cuestiones importantes.

NIVEL INTERMEDIO (2)

- ▶ Los estudiantes deben responder a los contenidos de la ciencia en los medios con una mentalidad abierta, escéptica (saludable o moderada) y una actitud reflexiva.
- ▶ Los estudiantes deben reconocer que la ciencia es una parte importante de la vida y la cultura.

NIVEL SUPERIOR (3)

- ▶ Los estudiantes son capaces de emitir juicios fundamentados sobre cuestiones sociocientíficas.
- ▶ Desarrollan la confianza y el compromiso suficiente para investigar y construir opiniones informadas sobre un tema disciplinar en cuestión.
- ▶ Los jóvenes son capaces de tomar decisiones racionales sobre aspectos sociocientíficos de interés (autonomía intelectual).

ANEXO III
Rúbrica empleada para la evaluación de la argumentación individual sobre el tema

| Rubros a evaluar | Niveles de desempeño | | | |
|-------------------------------------|--|---|--|---|
| | 1 (Deficiente) | 2 (Suficiente) | 3 (Regular) | 4 (Óptimo) |
| 1. Vocabulario | El uso que hace de las palabras es inapropiado y confuso. | El uso que hace de las palabras es reiterativo. | El uso que hace de las palabras es preciso. | El uso que hace del lenguaje es amplio y apropiado. |
| 2. Información disciplinaria | Hay ausencia de conceptos disciplinarios clave sobre el tema. | Utiliza de manera limitada la información disciplinaria en torno al tema. | Referencia conceptos científicos clave de manera correcta, pero hace poco uso de ellos. | Utiliza la información disciplinaria de manera apropiada en la construcción de argumentos. |
| 3. Información contextual | No reconoce la presencia de aspectos contextuales sobre el tema. | Su dominio contextual del tema es pobre y desarticulado. | Reconoce información contextual relevante, pero su utilización es limitada. | Hace uso de la información contextual de manera apropiada en la construcción de argumentos. |
| 4. Postura | Ofrece comentarios generales. | Comenta las posturas y no asume ninguna. | Enuncia una postura de manera superficial (a favor o en contra). | Define claramente una postura y ofrece una justificación al defenderla. |
| 5. Coherencia | Menciona ideas desconectadas y/o contradictorias. | Hay una conexión débil entre la información disciplinaria y contextual vertida. | Sus argumentos son consistentes, pero no congruentes. | Presenta consistencia y congruencia en su discurso. |
| 6. Justificación | Su afirmación o rechazo se sustenta en lo que cree que es verdadero. | Su afirmación o rechazo se fundamenta en opiniones externas de orden común (creencias socioculturales). | Su afirmación o rechazo se sustenta en experiencia o juicios personales que generaliza. | Su afirmación o rechazo se sustenta en evidencia empírica y/o en fuentes documentales acreditadas. |
| 7. Contrargumentación | Ausencia de contrargumentación o refutaciones. | Referencia de manera trivial aspectos controvertidos a la idea o posición que defiende. | Comenta aspectos controvertidos y/o contrarios a su posición. | Replantea argumentos basándose en los puntos controvertidos y/o contrarios a su posición. |
| 8. Actitud reflexiva | Manifiesta que solo existe un punto de vista (incuestionable). | Manifiesta que sabe de la existencia de diferentes puntos de vista, pero solo uno es correcto. | Manifiesta que existen diferentes puntos de vista, pero su capacidad para establecer acuerdos y desacuerdos es limitada. | Manifiesta que existen diferentes puntos de vista, mostrando capacidad para establecer acuerdos y desacuerdos de manera fundamentada. |

ANEXO IV EVIDENCIAS

En esta sección se muestran ensayos recabados durante la puesta en marcha de la propuesta metodológica reportada en este estudio.

— O —

► **Ensayo 1**

Ana Sheila Mondragón Pérez

Grupo: 629

El grafeno: Importancia de su estudio en el Colegio de Ciencias y Humanidades

Estoy a favor de la incorporación del estudio del grafeno en la asignatura de Química iv del Colegio de Ciencias y Humanidades porque el mencionado curso es de química orgánica, sin el carbono no se puede hablar de este tema y el grafeno es una forma alotrópica de este elemento ya que es una sola capa del grafito; es una capa de átomos de carbono unidos en forma de hexágonos, aunque tanto el grafeno como el grafito son formas alotrópicas del carbono, poseen propiedades totalmente distintas, debido a que en el tamaño nano, las propiedades de los elementos o materiales, pueden cambiar.

Es imprescindible que los alumnos de este bachillerato conozcan las propiedades, los usos, las ventajas que este nuevo material produce ya que con sus características únicas, existe una posibilidad de que en un futuro este material participe en las actividades que realizamos diariamente debido a que es un muy buen conductor de calor y electricidad, incluso mejor que el cobre y puede ser utilizado en el campo de la electrónica como baterías de larga duración, y en muchas otras industrias como la de la aviación, porque además de lo mencionado es un material súper resistente y ligero (200 veces más resistente que el acero y 6 más ligero) por esto mismo, tendrían menos pesos los aviones y mejoraría la eficiencia del combustible. También podría ser usado en dispositivos flexibles, portátiles y enrollables, y en casi todas las industrias.

También es importante que los estudiantes se informen de las desventajas actuales del grafeno pues no todo es positivo con este material; una de estas es que su conductividad es continua y al no poder detenerse, como conductor es difícil de utilizar por ese inconveniente, además, aún no se logra su producción comercial ya que solo se sintetiza en pequeñas cantidades. Otra dificultad que no está comprobada pero es posible, es que las partículas de grafeno, si no están adheridas se pueden respirar e introducirse al cuerpo humano y por consiguiente, causar daños en la salud.

En la mayoría de los artículos de divulgación no se hace mención de estas problemáticas y si lo hacen, es de manera muy superficial pero si se estudia en el curso de química tendremos presente tanto lo positivo como lo negativo de este material y tendremos mayor conciencia de las posibles consecuencias que nos traerá su desarrollo. Considero que si se logran superar los inconvenientes del grafeno el provecho que se le puede sacar a este revolucionario material es inmenso, nos facilitaría aún más las actividades cotidianas pero también es necesario que se emplee de manera equilibrada, responsable y sustentable. Recientemente se descubrió en la universidad de Hong Kong que el óxido de grafeno funciona como un buen limpiador de aguas mezcladas con residuos radioactivos, entonces no solo es un beneficio que las personas utilizaríamos como lujo, sino que podría representar una nueva esperanza para mejorar el mundo, empezando, quizás, por limpiar aguas contaminadas con material radioactivo.

Por todo lo mencionado anteriormente, puedo concluir que el grafeno tiene grandes posibilidades de convertirse en el material más utilizado en el futuro, para que esto no nos tome por sorpresa, los estudiantes del CCH deben estar informados sobre este nuevo material y lo prometedor que parece. Es cierto que la ciencia avanza a pasos agigantados y no dudo que en poco tiempo las limitantes del grafeno sean superadas y sus propiedades sean explotadas al máximo, aun así, los estudiantes deben aprender que no todo sobre este material es maravilloso, como en todo, existirán riesgos y de ello se debe hablar en las aulas pero no solamente de química, pues como ya he mencionado, el grafeno revolucionara el mundo tecnológico y formará parte de todas las industrias actuales entonces no solo es un tema de química o de alguna materia en específico, sino de todo lo que nos rodea en la vida cotidiana.

— O —

► **Ensayo 2**

Jorge Adolfo Domínguez González
Grupo 637

El grafeno, ¿nuevo tema de estudio?

Implementar el estudio del grafeno en el curso de Química VI tiene grandes ventajas. Desarrollar un tema de la actualidad en el programa de Química VI puede generar en los estudiantes un pensamiento analítico. Es un gran cierre para el curso, particularmente con la nanotecnología en donde existe un repaso sobre el estudio de la química y lo que esta conlleva. El grafeno tiene relación con la química ya que este es un alótropo del carbono, lo que quiere decir que tiene una estructura diferente a otras presentaciones del carbono como el diamante. La química es el estudio de la transformación de la materia, busca descubrir nuevas sustancias, el grafeno es un material nuevo de una forma transformada del carbono. Es necesario estudiar la manera en que los medios de comunicación retratan los temas científico y con esto tenemos la oportunidad de aprender a discriminar las ideas de los hechos y formar una opinión propia. En las últimas sesiones hemos trabajado el tema como parte de la asignatura y, en la última clase, he podido notar que una mayoría, sino es que todo el grupo, ha concordado con que un artículo de divulgación científica estaba incompleto en lo que respecta a la información. La conclusión de la mayoría del grupo fue que el artículo es tendencioso ya que no muestra todo lo relacionado al grafeno, pretende convencernos de que este material es demasiado ventajoso. No muestra los contras ambientales ni sanitarios. Hay desventajas en incluir el grafeno en el estudio de la asignatura. Cambios en los planes de estudio pueden tomar mucho tiempo y, en el caso de que se descubra un nuevo elemento que sea más prometedor que el grafeno, aún con la cantidad de desarrollo y patentes en países y empresas, podría haber un desplazamiento de este material y el tema envejecería, por lo que el tiempo que tardan los planes de estudios influye en qué tanto envejece el tema antes de poderlo modificar para poder actualizarlo. Aunque se me dificulta ver un cambio tan radical en la industria, ya que el grafeno es un material que para muchos centros de investigación e instituciones educativas es una realidad y una meta. También existe el problema de que el enfoque del estudio grafeno sea a partir de los medios de comunicación en donde el tema, en la mayoría de ocasiones, no es tratado de manera objetiva, como ya mencioné, en el artículo en el que trabajamos en clase faltaba información sobre los problemas ambientales y sanitarios que el grafeno conlleva. Estoy a favor de la inclusión del estudio del grafeno en la asignatura de Química VI pero tengo mis reservas. Lo mejor sería tratar al tema en un enfoque en el que se busca estudiar cómo los medios de comunicación representan y perciben

temas científicos para desarrollar un pensamiento analítico, en el caso del desplazamiento del grafeno por un material mejor, este enfoque sigue siendo vigente e incluso podría beneficiarlo ya que podemos tratar cómo expectativas generadas por los medio de comunicación llegan a no cumplirse. De la misma manera, es con este enfoque que, idealmente, se espera un estudio objetivo, tratando todas o la mayoría de las desventajas y ventajas del material.

— O —

► Ensayo 3

Jannet Aketzali Montoya Espinosa

Grupo:629

¿Palomita al grafeno?

La incorporación del grafeno al programa de estudios de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades en la asignatura de Química IV lo considero bueno e incluso necesario para que los jóvenes tengamos acceso a los avances de la ciencia y la tecnología, pues desde hace varios años las generaciones se han mantenido con programas sumamente teóricos, los cuales no se logran relacionar con la vida cotidiana de los estudiantes, provocando que el interés por los mismos disminuya.

La incorporación del tema del grafeno al programa de estudios permitiría que los alumnos engloben y comprendan de mejor forma los temas básicos vistos a lo largo del semestre, pues se trata de un curso de química del carbono y el grafeno es un alótropo más de este material, es una de las capas que conforman al grafito pero las notables diferencias con este último es algo que llama la atención. Con este contenido se logaría que los estudiantes relacionen su educación química con temas de interés, en este caso la tecnología, y puedan relacionar esto con su vida cotidiana, alcanzando el objetivo de mantener la atracción de los alumnos por la materia.

No todo es tan fácil, me parece que sería fundamental estudiar la nanotecnología en general y no solamente enfocamos en el grafeno, dedicar sesiones a informar primeramente qué es la nanotecnología, y los alótropos del carbono para lograr que el estudio del grafeno no reste valor a estos, pues a pesar de no tener aplicaciones actuales abundantes no podemos descartar su poca o mucha importancia comparada a la del grafeno en esta área, esto lo podemos constatar con artículos de fuentes confiables como la revista *¿Cómo ves?* de la UNAM, periódicos como *El Universal* y *El País*, CNN, entre otras.

Posteriormente, me parece de vital importancia que durante las clases dedicadas al estudio de este material, no solo se muestre el lado positivo y lo maravilloso del mismo, sino que se haga conciencia de las posibles consecuencias que tendrían en el aspecto ambiental, económico y social la implementación del grafeno a la vida cotidiana de las personas, como lo es el desempleo, el desecho de los materiales que utilizamos actualmente (computadoras, televisiones, teléfonos, etc.), el aislamiento de los individuos con su entorno al tener mejores tecnologías, entre muchas otras.

Sabemos que muchos de los docentes dan los contenidos sin generar el interés en temas novedosos por la forma tan ordinaria de dar sus clases, en las que el alumno escucha lo que el profesor dice sin llevar a fondo el análisis de estos, esto podría cambiar utilizando como recurso materiales actuales como los textos de divulgación de la ciencia y un pensamiento crítico. Para esto sería necesario dar primero cursos a los docentes sobre cómo facilitar que los alumnos tengan una visión crítica del tema y su relación con la vida diaria.

En base a estas razones puedo concluir que el estudio del grafeno beneficiaría el aprendizaje y la comprensión de la química orgánica y además el desarrollo de la capacidad de generar un razonamiento lógico y una crítica informada de aspectos relacionados a las ciencias u otros ámbitos.