



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

COMUNICACIÓN DE LA CIENCIA

**“ESTUDIO SOBRE LA CONTRIBUCIÓN DE LA COMUNICACIÓN DE
LA CIENCIA AL DESARROLLO DEL PENSAMIENTO CRÍTICO
EN LA EDUCACIÓN QUÍMICA PREUNIVERSITARIA”.**

**TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE DOCTOR EN FILOSOFÍA
DE LA CIENCIA
PRESENTA:**

JORGE MEINGUER LEDESMA

**TUTOR(A): DRA. JULIA TAGÜEÑA PARGA
POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

CIUDAD DE MÉXICO, JULIO DEL 2017



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.

A mí familia por su apoyo incondicional...

Si la intolerancia es parte indispensable de un pensamiento de dominio, la actividad crítica es el primer paso de un pensamiento liberador... la ciencia y la filosofía han cumplido un papel desmitificador frente al fanatismo religioso y la intolerancia moral y, deberán seguir cumpliéndolo frente al dogmatismo ideológico, oponiendo a la intolerancia el carácter universal del saber ético y objetivo...

Luis Villoro T. (1922-2014)
Creer, Saber y Conocer (2014), p. 292.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera especial a la Dra. Julia Tagüeña Parga, por la paciencia, supervisión y el apoyo brindado en la elaboración de este proyecto. Su tutoría significó una grata experiencia, porque me permitió adquirir una formación provechosa tanto en el ámbito académico como en la vida en general.

A los Doctores María del Carmen Sánchez Mora y José Antonio Chamizo quienes formaron parte del comité tutorial de este trabajo, por su asesoría y la atención mostrada. También, a los Doctores Miguel Ángel Fernández Vargas y Gian Carlo Delgado Ramos por su atenta revisión de esta tesis, las charlas como los atinados comentarios vertidos durante su culminación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada durante el período 2013-2016, la cual me permitió dedicarme de forma casi exclusiva a la elaboración de esta investigación. Asimismo, al Programa de Posgrado en Filosofía de la Ciencia de la UNAM por el auxilio y la cortesía mostrada en todas las etapas que involucró el desarrollo de este proyecto.

A la Dirección General de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades (DGENCCH), específicamente, a la Dirección del Plantel Sur, por el apoyo brindado al llevar a cabo el trabajo de campo reportado en este estudio. Asimismo, por la apertura institucional que me permitió concluir estos estudios de doctorado y por ser el espacio que enaltece mi labor docente en la UNAM.

A la Asociación Autónoma del Personal Académico de la UNAM (AAPAUNAM), por el apoyo brindado en la impresión de esta tesis.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	4
I. ANTECEDENTES	
1.1 Aspectos teóricos sobre Comunicación de la Ciencia	5
1.1.1 Una aproximación a la noción de comunicación de la ciencia	5
1.1.2 Objetivos distintivos de la comunicación de la ciencia	7
1.1.3 Relevancia de la comunicación de la ciencia en el contexto actual	11
1.1.4 La comunicación escrita de la ciencia y sus vertientes	13
1.2 El papel de la comunicación escrita de la ciencia en el ámbito escolar	16
1.2.1 Interrelación entre la comunicación de la ciencia y la educación científica	17
1.2.2 La presencia de la comunicación escrita de la ciencia en la educación formal	22
1.3 Estado del arte sobre la incorporación de textos informales a la educación científica	23
1.3.1 La importancia de la lectura en el proceso de enseñanza de la ciencia	24
1.3.2 La comunicación escrita de la ciencia en la práctica docente	27
1.3.3 La comunicación escrita de la ciencia en el aprendizaje	29
II. EL PENSAMIENTO CRÍTICO	
2.1 Caracterización del pensamiento crítico.	33
2.1.1 El pensamiento crítico en la filosofía continental	34
2.1.2 El pensamiento crítico en la filosofía analítica	35
2.2 La acepción analítica del pensamiento crítico: el grupo de los cinco	37
2.3 El pensamiento crítico en la educación	40
2.3.1 La noción de Pensamiento crítico de Paul y Elder	40
2.3.2 Problemas asociados con la enseñanza del pensamiento crítico	45

2.4	El pensamiento crítico desde una perspectiva epistémica	49
2.4.1	Pensamiento crítico y entendimiento	51
2.4.2	Argumentación y pensamiento crítico	55
2.4.3	Pensamiento crítico y responsabilidad epistémica	57
2.5	Pensamiento crítico, alfabetización y cultura científica	61
III. MARCO DE REFERENCIA EN LA COMUNICACIÓN DE LAS NANOESTRUCTURAS DE CARBONO		
3.1	Importancia del estudio de la nanotecnología del carbono en la educación química preuniversitaria	69
3.1.1	Definición de nanotecnología	69
3.1.2	Relevancia disciplinar y educativa de la nanotecnología del carbono	72
3.1.3	La comunicación de las nanoestructuras de carbono en la educación química preuniversitaria	74
3.2	Referentes metodológicos para promover el PC hacia la ciencia presente en los medios	78
3.2.1	El método C.R.I.T.I.C.	79
3.2.2	El uso de casos simulados en el proceso de análisis textual	81
3.2.3	Los cuatro elementos para el abordaje crítico de la ciencia en los medios	82
3.3	¿Cómo enseñar el PC a través de la lectura?	85
3.3.1	Trabajo cooperativo	85
3.3.2	Docencia dialógica	87
3.3.3	Mediación docente y autorregulación del aprendizaje	89
3.3.4	El uso de las TIC's como soporte didáctico	91
3.4	Criterios establecidos en la selección de los materiales de lectura en la comunicación de las NC	93
3.4.1	Criterios generales	93
3.4.2	Criterios específicos	94
IV. PROPUESTA METODOLÓGICA		
4.1	Semblanza metodológica	97
4.2	Proceso de selección de los materiales de lectura	99

4.3 Características de la muestra de los estudiantes encuestados	104
4.3.1 Muestra de estudiantes en la etapa piloto	105
4.3.2 Muestra de estudiantes en la propuesta de comunicación de las NC	106
4.4 Labor de campo efectuada en la comunicación de las NC	106
4.4.1 Etapa piloto: Aplicación del instrumento C.R.I.T.I.C.	106
4.4.2 Estrategia de comunicación de las NC en la educación química preuniversitaria	107
4.4.3 Secuencia de actividades	110

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resumen de los hallazgos encontrados durante la fase piloto	126
5.2 Resultados obtenidos en la propuesta de comunicación de las NC	132
5.2.1 Exploración de conocimientos previos	132
5.2.2 Conocimientos sobre ciencia	133
5.2.3 Habilidades	137
5.2.4 Conocimientos sobre ciencia en los medios	138
5.2.5 Actitudes	139
5.2.6 Evaluación de la argumentación	141
5.3 Discusión de los resultados	144
5.3.1 Viabilidad del trabajo realizado	144
5.3.2 Contribuciones a la educación química preuniversitaria	149

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

A1. Generalidades sobre el campo de la nanotecnología del carbono	170
A2. Pertinencia curricular de la comunicación de las NC en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la química en la ENCCH-UNAM	185
A3. Materiales de lectura utilizados en la comunicación de las NC	193
A4. Actividades y baremo de evaluación de la secuencia piloto	199
A5. Indicadores de aprendizaje utilizados en la evaluación de la propuesta metodológica	208
A6. Ejemplos de ensayos finales obtenidos en la propuesta de comunicación de las NC	217

INTRODUCCIÓN

El pensamiento crítico, es una noción que ha cobrado fuerza en los últimos años. La razón, se debe a que se le suele conceptualizar como un elemento importante de la denominada educación ciudadanía. Ante la complejidad, los problemas y las contradicciones que caracterizan al mundo contemporáneo, se ha edificado la idea de que la escuela debe responder formando ciudadanos capaces de entender, valorar y participar para tomar parte en las discusiones, así como en la toma de decisiones que armonicen su entorno y la vida en democracia. Para el logro de lo anterior, se debe de potenciar tanto en el ámbito formal como informal un accionar intelectual que vaya desde la reflexión hasta la acción (Satisteban, 2012).

En años recientes la interacción entre la comunicación de la ciencia y la educación científica se ha hecho más evidente gracias al reconocimiento de la gran influencia que tiene la ciencia en el rumbo que está tomando el planeta y la humanidad. Como resultado de lo anterior, divulgadores y educadores coinciden en la necesidad de ofrecer una visión de la actividad científica a la población que enriquezca su bagaje cultural y sea consistente con el ideal ciudadano. Además de los museos y las charlas divulgativas, la incorporación del discurso mediático sobre ciencia y tecnología en el ámbito escolar está contribuyendo a dilucidar los beneficios que representa el accionar conjunto de las dos esferas educativas antes mencionadas.

Actualmente, existen algunos trabajos que dan cuenta de las ventajas que provee el empleo de este tipo de información en la enseñanza de la ciencia. En ellos, se menciona su uso como fuentes y complementos de aprendizaje, como herramientas didácticas e inclusive como un objeto de investigación (Blanco, 2004). Este estudio, se ha propuesto aprovechar el potencial de la comunicación escrita de la ciencia para desarrollar el pensamiento crítico sobre el acontecer científico en las clases de química del bachillerato de la UNAM.

La idea de promover el pensamiento crítico en torno a la ciencia presente en los medios de información escrita, 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 cierta dosis de actualidad al proceso de enseñanza son de interés

público o ciudadano, pues su análisis implica la consideración de derechos, intereses y obligaciones. Finalmente, la tercera se asocia con la alta carga de subjetividad presente en los medios de comunicación en general, una cuestión que puede moldear malintencionadamente las opiniones e inclusive las acciones de las personas. En consecuencia, resulta crucial preparar a los alumnos desde la escuela para interpretar meticulosa y reflexivamente este tipo de publicaciones, así como para usar este tipo de información de manera responsable.

Para promover el desarrollo del pensamiento crítico, se analiza a este proceso intelectual desde la epistemología con el objetivo de contar con marco filosófico que dote de claridad su conceptualización y permita apoyar con mayor solidez la pertinencia de su desarrollo en el análisis del discurso mediático sobre ciencia y tecnología. En lo referente a la dimensión disciplinar de este proyecto, se decidió abordar aspectos relevantes sobre el campo de la nanotecnología de carbono. Un tema que además de ser vanguardista y oportuno en el contexto de la educación química, posee amplias implicaciones tecnológicas, ambientales, éticas y sociales, las cuales dieron pauta al desarrollo de un trabajo educativo innovador.

Esta tesis doctoral se divide en cinco capítulos. En el primero de ellos, se presentan los antecedentes de la investigación. Tal es el caso de generalidades sobre el campo de la comunicación de la ciencia, su cercana relación con la educación formal, aspectos que muestran el importante papel que tiene la lectura en las clases de ciencias, así como el estado del arte alrededor de la utilización de textos informales en el proceso de enseñanza-aprendizaje del conocimiento científico.

En el segundo capítulo se analizan elementos relacionados con la noción filosófica de este estudio, el pensamiento crítico. Para ello, al comienzo de este apartado se indaga sobre el origen y la relevancia de este proceso cognitivo en la geografía de la filosofía analítica. Posteriormente, se centra la atención en la definición propuesta por Richard Paul (1940-2015) y Linda Elder—representantes de la *Critical Thinking Community*¹ (Fundación para el Pensamiento Crítico)—. Debido a que, es una de las más referenciadas y aceptadas en la literatura. Posteriormente, se revisa desde una perspectiva epistémica, el valor que tiene esta perspectiva de la criticidad en la interpretación del conocimiento disciplinar, una labor que contribuye a hacer frente a la ambigüedad que existe al respecto en el campo de la enseñanza de las ciencias.

¹ <https://www.criticalthinking.org/>

Por su parte, en el tercer apartado son descritos los referentes teórico-metodológicos de la estrategia de lectura crítica propuesta en esta tesis. Los primeros hacen alusión a la temática disciplinar que guió a este estudio—la nanotecnología del carbono—. Mientras que, los segundos se refieren a los criterios, las estrategias y los trabajos que influyeron significativamente en la labor de campo efectuada. El cuarto capítulo está centrado en pormenorizar elementos metodológicos del proyecto, como es el caso de la descripción de las etapas más significativas que comprendió su realización, el proceso de selección de los materiales de lectura, las características de la muestra de estudiantes encuestados y el conjunto de actividades que involucró la implementación de la estrategia de comunicación del tema en las clases de química del bachillerato de la UNAM.

En el quinto apartado, se exponen con detalle los resultados obtenidos en la estrategia de análisis textual propuesta y se arguye sobre su viabilidad en el desarrollo del pensamiento crítico. Este último capítulo finaliza con una breve discusión, donde se esbozan las contribuciones más relevantes que se desprenden de esta investigación al ámbito de la comunicación y enseñanza de la química.

Educar para el logro de una sociedad informada y comprometida tanto con el desarrollo de la democracia como con la sustentabilidad del planeta requiere fomentar la capacidad de pensar críticamente. El presente estudio es una apuesta en esta dirección, en la medida en que propone una ruta de comunicación del conocimiento científico más flexible, abierta, y participativa. Al tiempo que, da lugar a la formación de redes multidireccionales que fortalezcan y susciten una renovación del trabajo epistemológico en las aulas. En conjunto, constituye una loable propuesta para dotar de actualidad, reflexión y pluralidad a la educación química.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

El propósito de este trabajo doctoral, es realizar un estudio que permita emplear textos provenientes de la comunicación pública de la ciencia para abordar el tema de nanotecnología del carbono en la educación química preuniversitaria, con la finalidad de desarrollar elementos de pensamiento crítico que contribuyan a impulsar una cultura científica.

Objetivos Específicos

Como metas específicas a cubrir se planteó:

- Monitorear la cobertura que se da a la nanotecnología del carbono en editoriales periodísticas y divulgativos relevancia nacional, esto con el objetivo de seleccionar textos que permitan dar un tratamiento a esta temática en las clases de química del bachillerato universitario.
- Trazar una caracterización del pensamiento crítico en el marco de la teoría epistemológica de virtudes que posibilite analizar y apoyar su pertinencia en el análisis de la ciencia presente en los medios de comunicación.
- Elaborar una propuesta de análisis textual donde se muestre como desarrollar, reconocer y evaluar el pensamiento crítico mediante la lectura de fuentes informales en la enseñanza de la química.
- Indagar sobre los beneficios que provee la utilización y el análisis de recursos provenientes de la comunicación pública de la ciencia en la formación del pensamiento crítico, así como en el impulso de una cultura científica en el ámbito escolar.

I. ANTECEDENTES

En este capítulo, se exponen los antecedentes que dan sustento a la incorporación de textos provenientes de la comunicación pública de la ciencia en las clases de química del bachillerato universitario. Para ello, se ha dividido en tres secciones. En la primera, se indaga sobre la definición de comunicación de la ciencia, sus objetivos más distintivos y relevancia en el contexto actual. Mientras que, en la segunda se discute sobre la importancia que algunos autores asocian a la presencia de la comunicación de la ciencia en el ámbito escolar. Por último, se esbozan algunos resultados reportados en la literatura alrededor de la utilización de publicaciones informales tanto en la enseñanza como en el aprendizaje del conocimiento científico.

1.1 Aspectos teóricos sobre comunicación de la ciencia

1.1.1 *Una aproximación a la noción de comunicación de la ciencia*

En la actualidad, no existe una definición precisa y universal que abarque todos los aspectos teóricos y prácticos que atañen al campo de la comunicación de la ciencia. No obstante, algunos especialistas sugieren concebir a esta actividad en principio como un asunto de comunicación (Fayard, 2004). Entendido este, como la acción de hacer participar a un individuo, o a un sistema situado en un punto dado, de los estímulos de un medio ambiente de otro individuo o de un sistema situado en otro lugar o época, utilizando los elementos que tienen en común (Trigueros, 2002). De esta forma, comunicar implica una relación entre dos entes y un mensaje entre ellos. Además, es fundamental tener en cuenta un contexto que le dé sentido al flujo de información entre receptor y emisor. En consecuencia, la comunicación puede contemplarse como un proceso de interpretación y compromiso donde el significado de aquello que se comunica no depende exclusivamente de su estructura formal, sino también de la participación activa del receptor en un contexto determinado.

A pesar de la falta de criterios de homogeneidad para construir un concepto global de la comunicación de la ciencia, en la literatura es posible rastrear algunas definiciones que responden a diferentes tradiciones y enfoques al conceptualizar esta actividad alrededor del mundo. A continuación, se citan algunas de ellas:

- *La comunicación de la ciencia es una acción informativa que ocurre en los medios impresos y electrónicos, los museos tradicionales, el gobierno y programas del sector público, la industria privada, los centros de investigación y en la comunidad científica en general para incentivar la comprensión de la ciencia (Wellcome Trust and the Office of Science and Technology, 2000).*
- *La comunicación de la ciencia se define como el uso de habilidades escritas, orales o audiovisuales para producir una o más de las siguientes reacciones: apreciación, interés, formación de opinión y/o entendimiento de la ciencia (Burns, O'Connors y Stocklmayer, 2003).*
- *La comunicación pública de la ciencia (CPC) integra a todas las actividades de comunicación que poseen contenidos científicos destinados a públicos no especialistas en situación no cautiva, con el objetivo de poner al alcance de la sociedad los cambios que se derivan de la evolución de la ciencia y la tecnología (Fayard, óp. cit.).*
- *El concepto de comunicación de la ciencia abarca el conjunto de actividades de comunicación que tienen contenidos científicos, desde la comunicación entre especialistas, pasando por la enseñanza, hasta la divulgación destinada al público lego (Sánchez, 2010).*

En un sentido general, estas definiciones coinciden en que la comunicación de la ciencia es un proceso dinámico que ocurre entre una comunidad de expertos—científicos y comunicadores— y un público diverso, el cual suele ser no especializado. Esta labor tiene como finalidad difundir, mediar y recrear el conocimiento científico a partir de una variedad de estrategias y medios en contextos educativos tanto informales como formales.

Acorde con lo descrito, la comunicación de la ciencia no implica una traducción literal de los logros y resultados que provee la ciencia, sino un proceso creativo de transcodificación que los recrea para ser presentados de forma más asequible, interesante y significativa a un auditorio. Por lo anterior, comunicar la ciencia requiere además de proporcionar información científica que sea fidedigna, el impulso de formas de razonamiento y actitudes que favorezcan el compromiso y la participación responsable en torno al conocimiento científico. Luis Estrada (2014) ilustra de manera muy clara esta visión al señalar, que la comunicación de la ciencia es una acción activa, es decir, un “ir y venir” de conocimientos, opiniones, críticas y

aclaraciones que mediante la acción dialógica favorece la apropiación del saber científico en un público determinado.

Por cuestiones que tienen que ver con tradiciones culturales alrededor del mundo, se suele asociar a la comunicación de la ciencia con otra terminología al situar y analizar localmente su práctica. Así, en los países anglosajones se utilizan términos como *popularization*, *vulgarization*, *public understanding of science (PUS)*, *scientific literacy*, *science writing*; en la escuela francesa se habla de *communication scientifique publique (CSP)*; en España de *periodismo científico*, en Latinoamérica de *popularización de la ciencia o comunicación pública de la ciencia*. En México, el término más arraigado para denotar a la comunicación de la ciencia es el de *divulgación científica* (Sánchez, óp. cit.). No obstante, se considera que equiparar ambos términos constituye un error conceptual porque la divulgación es un subconjunto o actividad que está inmersa dentro del proceso comunicativo (Estrada, óp. cit). Por tanto, en este trabajo se utilizará únicamente el término comunicación de la ciencia, ya que este es el más apoyado por la comunidad de especialistas y unifica criterios explicativos alrededor de esta actividad.

1.1.2 *Objetivos distintivos de la comunicación de la ciencia*

El gran desarrollo científico y tecnológico suscitado en las últimas décadas ha planteado importantes retos para la comunicación de la ciencia. Por ejemplo, ampliar su cobertura a las tecnologías digitales—que son en la actualidad uno de los vehículos más utilizados por la población joven al adquirir información—, fomentar juicios reflexivos y el pensamiento crítico hacia el conocimiento científico, así como la formación de valores que contribuyan a fortalecer la democracia alrededor del mundo. En la literatura, se reportan como algunos de sus objetivos prioritarios: la apreciación pública de la ciencia, la búsqueda y consolidación de una cultura científica, la integración entre ciencias y humanidades, la gratificación del saber, el empoderamiento ciudadano y el bienestar social (Sánchez, óp. cit.).

Con miras a presentar de forma sintética los *para qué* más importantes que persigue la comunicación de la ciencia, estos serán agrupados en tres ejes: apreciación pública de la ciencia, fomento de la cultura científica y participación ciudadana.

Apreciación Pública de la Ciencia

El origen del término apreciación o comprensión pública de la ciencia se acuñó en Inglaterra a mitad de los años 80's y se consolidó en la siguiente década en el resto de los países anglosajones con el movimiento *Public Understanding of Science (PUS)*, el cual recibió un apoyo inusitado por parte de instituciones de investigación y agencias gubernamentales de primer nivel. Este reconocido enfoque encaminó las primeras investigaciones sobre las formas en que la sociedad asimila, se interesa, accede y valora la producción científica. En un inicio, su fundamento descansaba en una óptica lineal, según la cual, el respeto y la aprobación hacia el trabajo de la comunidad científica era el resultado de una apropiada comprensión social de los avances que esta producía.

En el contexto nacional, está superada visión donde el proceso comunicativo se concebía de forma unidireccional—de los expertos hacia un público lego— fue la vertiente que privilegiaron los grupos de divulgadores. A este esquema en la actualidad se le denomina como modelo de déficit, debido a que su función primordial era llenar un vacío cognitivo alrededor de la ciencia en la población para aminorar sus inquietudes hacia esta actividad y no poner en riesgo su financiamiento ni en duda su legitimidad. Actualmente, el concepto de concepción pública de la ciencia remite a un proceso de comunicación social, así como al impacto de este sobre la formación de conocimientos, actitudes y expectativas sociales sobre ciencia y tecnología (Polino y Fazzio, 2003).

Para indagar sobre la apreciación pública de la ciencia, las investigaciones han adoptado dos estrategias: por una parte, se han desarrollado estudios conceptuales—cualitativos—; y por otra, se han monitoreado opiniones en dimensiones mesurables, a través de la lógica de construcción de indicadores (Polino y Fazio, óp. cit.). Estos últimos, generalmente están agrupados en tres categorías: a) interés del público en la ciencia y la tecnología; b) comprensión de conceptos básicos y naturaleza de la ciencia y c) actitudes hacia la ciencia y la tecnología. La articulación de estos indicadores de percepción constituye una serie de termómetros sociales útiles para el establecimiento de políticas públicas que fomenten la participación ciudadana y contribuyan a la democratización del conocimiento científico (Albornoz, 2010).

Estudios recientes han mostrado que el interés por la ciencia figura entre los aspectos culturales más impopulares en la sociedad, a pesar de que muchos de sus productos son una compañía constante en la vida cotidiana (De la Peña, 2005). Son varias las razones que se asocian con esta tendencia, como el mal tratamiento que se da a las disciplinas científicas en la enseñanza formal a todos niveles, las reaccionarias campañas anticientíficas llevadas a cabo por instituciones religiosas que desgraciadamente aún cobran una buena cantidad de adeptos en los países subdesarrollados como el nuestro, la propaganda mediática de las pseudociencias, la falta de apoyo de los gobiernos a la investigación y divulgación científica, entre otras. En esta dialéctica, la comunicación de la ciencia se devela como un elemento crítico para crear conciencia en la sociedad sobre las ventajas y el riesgo que genera la actividad científica, para propiciar un mejor entendimiento de esta empresa, así como de las implicaciones sociales, éticas y ambientales que le son inherentes.

Por lo anterior, la imagen de la ciencia que se debe ofrecer al público en un proceso de comunicación, debe ser la de una actividad constructiva realizada por seres humanos y no por genios, que sus resultados son temporalmente verdaderos, y que la palabra “verdadero” tiene para los científicos un significado especial basado en la argumentación racional y el consenso. Asimismo, se debe mostrar que la ciencia es una labor colectiva como pocas, hecho que obliga a los comunicadores a enfatizar más en los procedimientos que utilizan los científicos en la construcción de nuevos conocimientos, que en la presentación de resultados. Para ello, es fundamental que la comunicación científica se apoye en la historia y la filosofía de la ciencia, pues sólo de esta forma se puede incorporar un humanismo al recrear o contextualizar los contenidos científicos (Regules, 2007).

Fomento de la cultura científica

Al indagar sobre los objetivos más relevantes de la comunicación de la ciencia, se hace fundamental referenciar el desarrollo de una cultura científica, una finalidad que ha dado sentido e identidad a este loable campo. Para ahondar sobre el término cultura científica, Luis Estrada (óp. cit.) recomienda conceptualizar a esta de manera similar como ocurre con el caso de la cultura cívica, artística o literaria. De manera que, la aculturación de la ciencia es una cuestión que va más allá de la comprensión de ciertos contenidos que se consideran básicos o fundamentales, se requiere

también de cualidades disposicionales que permitan ejercer la crítica de las prácticas científicas, valorar sus aportaciones, reconocer y poner en relieve sus problemáticas, así como utilizar este tipo de conocimiento de manera ética.

Abogar por una cultura científica es invitar a la reflexión sobre el valor que tiene la ciencia en el plano social con el objetivo de adquirir un cúmulo de herramientas críticas de pensamiento, que sean útiles en contextos cambiantes y en situaciones tanto de la vida personal como colectiva (Ibídem). Para Méndez (2002), es un propósito que permite promover el diálogo entre ciencias y humanidades, así como un factor que coadyuva en la consolidación de sociedades libres y democráticas. Esto, al mencionar que el espíritu racional propio de la ciencia es un rasgo intelectual que inmuniza el virus de la mentira, la falsedad y la manipulación. En síntesis, se puede decir que la cultura científica es una ambiciosa meta que contribuye al empoderamiento intelectual y social de las personas. En el siguiente capítulo se analiza con más profundidad el origen de esta noción, su significado y relevancia en este trabajo doctoral.

Participación ciudadana

Los gobiernos autoritarios tanto de derecha como de izquierda, se han distinguido por una marcada desconfianza hacia la ciencia, sobre a todo a la libertad de conciencia y expresión que esta exige de sus participantes. Fallaron los intentos de los nazis por descalificar la teoría de la relatividad llamándola “ciencia judía”, también los intentos de los comunistas de la URSS por desacreditar a la mecánica cuántica calificándola como “ciencia burguesa”. De estos dos ejemplos resulta claro que, el avance de la ciencia hace una y otra vez descubrimientos que resultan incómodos y trastocan las convicciones más arraigadas en el dogma y el pensamiento mitológico (Méndez, óp. cit.).

Al hablar de participación ciudadana, la comunicación de la ciencia incorpora a su marco de acción elementos provenientes de las ciencias sociales como la sociología, la economía y la política. Una perspectiva de análisis que ha cobrado fuerza en los últimos años, pues se han publicado una gran cantidad de trabajos al respecto. En ellos, se atribuyen funciones socioculturales a esta labor como la creación de una conciencia científica colectiva para reforzar la democracia; incidir

en la política científica; informar a la sociedad sobre los riesgos a la que está expuesta; ser el puente entre distintos sectores (ciencia-industria-gobierno) para buscar objetivos comunes; ser un vehículo por excelencia para propagar mensajes ideológicos con aureola de falsa neutralidad; fomentar el apoyo y la adhesión social a valores representados como indiscutibles que benefician al poder, etc. Lo cierto es, que la comunicación pública de la ciencia depende plenamente de la sociedad de la cual emerge y de la cual refleja tanto tensiones como evoluciones (Fayard, óp. cit.).

La ciencia es un medio que favorece el pensamiento reflexivo y libre en un mundo en que las personas tienen cada vez más que decidir sobre cuestiones que les afectan y benefician con información, rigor y responsabilidad. En consecuencia, es apremiante que, en una sociedad democrática y plural, el conocimiento científico sea accesible para la mayoría de las personas con independencia que estas sigan o no una vocación científica, pues su comprensión, así como adecuado manejo es un factor clave para incentivar la participación activa de la ciudadanía sobre temas de interés público que guarden relación con el trabajo de los científicos.

1.1.3 Relevancia de la comunicación de la ciencia en el contexto actual

Para ilustrar lo pertinente que resulta el proceso de la comunicación de la ciencia, el astrónomo y divulgador norteamericano Carl Sagan (1997), sostenía que hemos creado una civilización globalizada donde sus elementos cruciales dependen profundamente de la ciencia y la tecnología, pero al mismo tiempo, es muy corto el margen de la población que comprende estas áreas de conocimiento. Según este afamado divulgador, son cuatro las razones que dotan de valor al proceso de comunicar la ciencia: 1) para las naciones en desarrollo, la ciencia puede ser la ruta ideal para salir de la pobreza y la marginación; 2) la ciencia nos alerta sobre los peligros que implican las tecnologías que alteran el ambiente; 3) la ciencia aborda las más profundas cuestiones sobre nuestro lugar en el universo y 4) los valores propios de la ciencia y de la democracia son a menudo indistinguibles. Para este autor, la ciencia es una fuente de conocimiento inagotable que favorece una mejor comprensión de nuestro entorno natural y social, por tanto, es uno de los saberes más provechosos que posee la humanidad.

Por su parte, las divulgadoras Ana María Sánchez (2010) y Guadalupe Zamarrón (2002) ofrecen un recuento más amplio de los motivos que hacen imprescindible a la comunicación de la ciencia en el escenario actual, tomando en consideración las ideas de los movimientos *Public Understanding of Science* (PUS) y *Communication Scientifique Publique* (CSP)¹:

- *La ciencia es parte de la cultura universal.*
- *La ciencia es una manera de conocer el mundo que ha resultado muy exitosa.*
- *La ciencia y la tecnología desempeñan un papel crucial en las sociedades actuales.*
- *La prosperidad de las naciones descansa en la ciencia y en la tecnología.*
- *La industria nacional será más competitiva si los administradores o tomadores de decisiones entienden mejor que es la ciencia y se auxilian de sus aportaciones.*
- *Los científicos deben aprender a comunicarse con el público.*
- *El público financia ciencia y tecnología con sus impuestos.*
- *Los ciudadanos no pueden permanecer al margen de los debates en materia de ciencia y tecnología.*
- *La comunicación de la ciencia es necesaria para tener acceso a la información.*
- *La información es imprescindible para tomar decisiones democráticas.*
- *La información es básica para tomar decisiones personales.*
- *Comprender la naturaleza es una fuente de gozo personal.*
- *Integrar al individuo al mundo contemporáneo, producto del conocimiento de ciencia y tecnología.*
- *Acortar la brecha que existe entre la educación escolar entre países subdesarrollados y desarrollados.*
- *Contribuir a incrementar la visión integral del mundo por medio del conocimiento de la ciencia en relación con otros saberes.*
- *Ampliar la curiosidad y la imaginación, desarrollando actitudes críticas y analíticas en la población.*

Como puede observarse, son múltiples los factores que hacen de la comunicación de la ciencia un elemento trascendental en lo que se ha denominado como sociedad del conocimiento. En resumen, se puede sostener que esta práctica contribuye al desarrollo humano, en la medida que incrementa el conocimiento de las personas y favorece las capacidades de tomar mejores decisiones.

¹ Communication Scientifique Publique (CSP) es la denominación de un movimiento que surgió años posteriores al PUS en Francia y que ha sido adoptado en España. Este se caracteriza por promover la democratización del conocimiento científico y el empoderamiento de los ciudadanos en materia de ciencia y tecnología, en este enfoque los especialistas en el análisis social y filosófico de la ciencia tienen gran influencia.

Finalmente, es importante señalar que, la comunicación de la ciencia se auxilia de una diversidad de medios para cumplir sus cometidos, los cuales van con el diseño de estrategias didácticas tradicionales hasta las ferias, juegos y concursos en el contexto escolar. Fuera de este ámbito son incontables los canales en que se da esta labor: conferencias, exposiciones, talleres, carteles, folletos, teatro, campamentos y turismo científico, centros o cafés de ciencia, museos, libros, revistas, periódicos, radio, cine, televisión, blogs y animaciones digitales, *Internet* y muchas combinaciones más. Para la comunicación científica todos los formatos son útiles y válidos, independientemente si son antiguos o modernos; la elección de unos u otros depende del público y del contexto del acto comunicativo.

En la siguiente sección, se indaga sobre aspectos generales alrededor de la comunicación escrita de la ciencia, ya que el análisis de los productos que genera esta labor constituye un referente en el trabajo metodológico de este estudio.

1.1.4 La comunicación escrita de la ciencia y sus vertientes

Como se ha mencionado, difundir los logros que cosecha la ciencia, se ha vuelto hoy en día una tarea de amplia relevancia social. La comunicación escrita de la ciencia representa uno de los canales más eficaces en el logro de este cometido, pues se vale de una amplia gama de recursos, como es el caso de los libros y revistas de divulgación científica, la prensa escrita, los portales de agencias periodísticas o de instituciones académicas presentes en internet, los hoy tan populares blogs digitales de ciencia, los carteles, folletos y mamparas que son parte indisoluble de los museos de ciencias, así como guiones radiofónicos y televisivos.

En esta modalidad comunicativa destacan dos vertientes. Por un lado, está la tradición inglesa, para la cual, el discurso de la comunicación científica debe ser autónomo y creativo, es decir, no debe reducirse al mundo de lo científico ni a los cánones del periodismo tradicional, por lo que debe situarse cerca de la literatura y el arte. Por el otro, la escuela española más vinculada con el análisis de la información de corte científico que transcurre en los medios masivos de comunicación. Según esta última, la comunicación escrita es una clase de periodismo especializado en ciencia que difiere solamente en matices de la labor informativa tradicional. Lo cierto es, que ambas perspectivas al contrario de lo que pareciera, tienen más similitudes que diferencias al caracterizar su práctica. A continuación, se muestra brevemente aspectos básicos de cada enfoque.

Para los comunicadores adscritos a la tradición inglesa, la relación que guarda la ciencia y la literatura es antigua. Por ejemplo, Carlos López (2002) sostiene que cualquier escrito científico del siglo XVIII es por lo común un goce literario. Esto se debe a la cortesía y la pulcritud con que el lector es recibido en él, la presencia de frases memorables, así como los esfuerzos de autores como Galileo, Newton, Bacon, Boyle entre otros, para plasmar con claridad sus ideas y resultados. Sin embargo, durante la segunda mitad del siglo XIX, comenzó a gestarse un divorcio entre la ciencia cada vez más especializada y el espacio común del lenguaje natural. En los albores del siglo XX, esta fractura se dio por completo debido a que las publicaciones científicas en pro de una mayor dosis de objetividad borraron en su discurso casi en su totalidad cualquier referencia humana.

En la actualidad, gracias al reconocimiento del análisis de trabajos provenientes del campo de la historia de la ciencia, se ha consolidado en el seno de la comunidad científica el reconocimiento de que este aislamiento ha sido un grave error. Para corregirlo, las esferas vinculadas con el rumbo que toma el desarrollo científico están apoyando como nunca a la comunicación científica. Conscientes de ello, los divulgadores se esfuerzan por devolver al discurso científico su sentido social y humano. Para lograrlo, han trazado un puente con la literatura porque este arte además de coadyuvar a encontrar significados culturales de lo que se lee sobre ciencia de manera informal, crea un vínculo afectivo entre quién produce y lee un texto divulgativo (Sánchez, *óp. cit.*).

Entre los recursos literarios que se han incorporado al discurso divulgativo destacan el establecimiento de analogías y metáforas, el apoyo en la historia y la tradición, el uso de la ironía y el humor, la referencia a lo popular o cotidiano, el nexo entre arte y ciencia, así como la desacralización de lo científico (Sánchez, 2002). Usar figuras literarias al difundir la ciencia entre la población tiene una finalidad que sobrepasa la mera comunicación de ideas, permite captar la atención del lector y comprometerlo con el proceso de interpretación de un texto, un hecho que constituye una ventaja con respecto al enfoque informativo tradicional.

Por su parte, el periodismo científico es un ámbito de comunicación que se distingue por el énfasis que le da al vehículo que utiliza para acercar la ciencia a la sociedad: los medios de comunicación. Manuel Calvo (2003)—un pionero en esta vertiente—, lo define como una especialidad informativa que consiste en contar al público asuntos relacionados con la actualidad científica y tecnológica. Dicha tarea

contempla la elaboración de reportajes o noticias, la descripción de laboratorios y centros de investigación, el acercamiento a la personalidad del investigador, la creación de un clima de interés hacia la ciencia, así como el impulso de una conciencia pública sobre el valor que tiene esta empresa.

Al periodismo científico se le atribuyen una gran variedad de funciones, las cuales van desde informar hasta crear tendencias políticas e ideológicas muchas veces infundadas sobre la práctica científica. No obstante, existe el consenso que son tres sus metas más importantes: informar, educar y sensibilizar a la población en materia de ciencia y tecnología. La primera es inherente a la condición periodística, la segunda se relaciona con saciar la curiosidad intelectual de las personas y estimular las mentes de los lectores, finalmente, la tercera se relaciona con concientizar a la audiencia sobre lo valiosa que es la ciencia en el mundo actual.

Concretamente, en lo que respecta a las características del discurso del periodismo científico en medios escritos como la prensa, al igual como ocurre en la tradición inglesa se reconoce que comunicar la ciencia no es un simple mecanismo de traducción literal, sino una forma de recontextualizar temáticas y prácticas para hacerlas más comprensibles. Este reconocimiento supone que los textos presentes en los periódicos, revistas y espacios noticiosos deben facilitar la representación social del saber científico (Alcíbar, 2004). Para ello, los periodistas deben crear patrones discursivos que ayuden al lector a contrastar la información consultada con su bagaje cultural, sus convicciones éticas o intereses particulares.

Desde esta óptica, el compromiso del periodismo científico está en hacer circular socialmente a la ciencia, construyendo nuevas narrativas a partir de discursos ya elaborados en comunidades especializadas, estimulando la curiosidad, el asombro, la capacidad crítica y el debate sobre temáticas científicas de interés público. Para el logro de estas metas, los profesionales en el campo se valen de las siguientes estrategias:

- *Relacionar el contexto del informante con el del receptor, sujeto de comunicación.*
- *Reducir el lenguaje especializado presente en las principales fuentes científicas al lenguaje popular y llano —nivel léxico—.*
- *Redactar con oraciones directas y precisas, las cuales posibiliten estructuras sintácticas que promuevan la comprensión integral del texto —nivel sintáctico—.*

- *Hacer uso de recursos narrativos como paráfrasis, analogías y metáforas —nivel semántico—.*
- *Preponderancia a resaltar aplicaciones y consecuencias sobre los contenidos presentados.*
- *Uso planificado de recursos visuales con fines persuasivos y lúdicos.*
- *La incorporación de opiniones, juicios de valor y apreciaciones como elementos retóricos o de persuasión (Alcíbar, óp. cit.).*

Un aspecto a resaltar, es que la información presente en espacios periodísticos, se transforma en un discurso construido por las intenciones o intereses del órgano mediático que la respalda, es decir, en función de un contrato de comunicación. El hecho de que el periodismo científico responda a las expectativas de un contrato mediático, le impone someterse a ciertas exigencias, tales como la visibilidad, relevancia y emotividad al presentar sus contenidos (Marincovich, 2006).

Como cierre de este subapartado, se hace prudente mencionar en cuales productos o recursos textuales están representadas las dos escuelas antes mencionadas. Generalmente, los libros y las revistas de corte divulgativo usuales en círculos académicos de prestigio siguen los cánones inherentes a la tradición inglesa, esto es, el apego a códigos de producción muy cercanos a la literatura. Mientras que, como resulta obvio los textos de ciencia y tecnología provenientes de los medios de comunicación están inscritos en la tradición española del periodismo científico. Lo cierto es que, ambas escuelas se han influenciado mutuamente para hacer de la comunicación escrita de la ciencia un arte que tiene como cometido transformar la información científica en un producto ameno, significativo, veraz y oportuno para sus lectores. En las siguientes secciones, se discute acerca de la utilidad e importancia que tiene esta modalidad comunicativa en la educación científica escolar.

1.2 Aportaciones de la comunicación de la ciencia al ámbito escolar

Tanto la comunicación de la ciencia como la educación científica escolar son las vías principales para acercar la ciencia a la sociedad, ambas fungen como intermediarios entre la comunidad científica y la ciudadanía. A pesar de lo anterior, estos dos enfoques poseen diferencias notables en importantes dimensiones: sus

objetivos más concretos, el público al que se dirigen, los contextos en lo que se realizan y los medios o recursos que suelen utilizar. En las siguientes páginas, se presenta un bosquejo de las características, diferencias y relación de ambas esferas educativas, el cual sirve como preámbulo para analizar las ventajas que representa la utilización de textos científicos informales en el proceso de enseñanza.

1.2.1 Interrelación entre la comunicación de la ciencia y la educación científica

Como se ha mencionado, la comunicación y la enseñanza de la ciencia poseen diferencias notables que se deben considerar al examinar su accionar conjunto. La educación científica está inscrita en lo que se denomina como educación formal, lo que implica que obedece a un tipo de formación gradual, obligatoria y altamente sistematizada. Su principal medio es la escuela y se caracteriza por hacer llegar los fundamentos, las aplicaciones y el impacto social de la ciencia a los estudiantes. Los contenidos que aborda, así como el nivel de profundidad en su tratamiento, son determinados y homogeneizados por instituciones gubernamentales a través de currículos o programas de estudio. Los criterios para su diseño, generalmente responden a las capacidades cognitivas propias de los estudiantes a los que van dirigidos, a situaciones contextuales locales y a la intencionalidad del sistema educativo de un país o región.

En términos generales se pueden identificarse dos grandes finalidades en la educación científica: a) formar científicos, es decir, permitir el acceso a la práctica de la ciencia a un sector de la población para que se conviertan en agentes activos del desarrollo científico y tecnológico de una región determinada y, b) mejorar el nivel de conocimientos científicos de la sociedad. La ciencia escolar es el resultado de un proceso de reelaboración, no siempre explícito conocido como transposición didáctica, el cual no debe percibirse como simplificaciones sucesivas de las teorías científicas (Chevallard, 1991). En la transposición didáctica, se conjugan de forma equilibrada contenidos científicos que revisten cierto grado de complejidad—pero que son considerados relevantes desde la óptica disciplinar— con algunos criterios pedagógicos. Su propósito, es promover un tratamiento didáctico apropiado de estos contenidos con la intención de potenciar su comprensión en el estudiantado.

Otra característica de la educación formal es el rigor de su evaluación y su certificación oficial. La educación científica es evaluada formalmente desde etapas tempranas hasta la universidad, para monitorear el aprovechamiento escolar en diferentes ámbitos—individual, colectivo e institucional—. Por su parte, la certificación simboliza el medio para legitimar ante la sociedad los logros y el grado de especialización obtenido durante el proceso educativo.

Por su parte, la comunicación de la ciencia se suele ubicar en la geografía de la educación informal, por lo que es una actividad paralela e independiente del sistema educativo, espontánea, voluntaria porque consiste en la libre participación en situaciones de aprendizaje, permanente porque puede cultivarse durante toda la vida de una persona, no dirigida ya que su audiencia se caracteriza por la diversidad. Generalmente es una práctica carente de evaluación y certificación. Se manifiesta en una gran variedad de medios: museos, libros, revistas de divulgación, prensa escrita, productos audiovisuales (radio, cine, video y televisión), tecnologías digitales, ferias, centros, clubes y cafés de ciencias, por mencionar algunos.

En la comunicación de la ciencia al igual que en la educación científica, la forma de presentar el contenido disciplinar no reside en una traducción simplificada del mismo. Pero a diferencia de esta, la comunicación no reelabora el conocimiento científico, sino como se ha mencionado, lo recrea por medio de la incorporación en su discurso de elementos artísticos—figuras literarias o recursos visuales— y contextuales. A este proceso, se le suele denominar como recontextualización discursiva, su función es social y tiene que ver con democratizar el conocimiento científico, es decir, ponerlo al alcance de los ciudadanos al tiempo que los hace conscientes de su importancia (Bonfil, 2002).

Tomando en cuenta la comparación realizada en la tabla 1, es claro que tanto la comunicación de la ciencia como la educación científica operan con un conjunto de reglas, restricciones y medios diferentes. Tan es así, que hace algunos años estos medios eran concebidos como campos ajenos y distantes. Actualmente, gracias al reconocimiento político, económico y social de la influencia que tiene la ciencia en el mundo contemporáneo, incentivar el interés por lo científico ha dejado de ser una loable convicción de algunos circuitos académicos, para convertirse en una inaplazable necesidad educativa. En años recientes, la divulgación y la enseñanza

de las ciencias han acortado distancias y empiezan a compartir metas, como es el caso del fomento de una cultura científica.

Tabla 1. Diferencias significativas entre comunicación de la ciencia y educación científica

Educación científica	Comunicación científica
Obligatoria	Voluntaria
Planificada, estructurada y secuenciada	Poco estructurada
Dirigida y legislada	No legislada
Evaluada y certificada	Poco evaluada y carente de certificación
Cerrada	Abierta
Centrada muchas veces en el profesor	Centrada en el público o audiencia
Formativa	Lúdica
Utiliza el modelo de transposición didáctica al ofrecer información	Utiliza el modelo de recontextualización discursiva al ofrecer información

Prueba de lo anterior, es el amplio reconocimiento que dan trabajos educativos recientes a la labor divulgativa. En estos, la divulgación ha dejado de ser referenciada como un adorno menor que acompaña al proceso escolarizado, otorgándole el estatus de una herramienta imprescindible para introyectar información en las aulas que favorezca el debate y la participación en torno al acontecer científico (Jarman y McCune, 2011). Por el lado de la divulgación también se han cedido posiciones, ya que la línea que demarcaba a esta labor como prioritariamente lúdica comienza a atenuarse, concediéndole importancia a investigaciones que tratan de elucidar el impacto educativo de algunos de sus productos en contextos formales e inclusive su incorporación a los currículos de ciencia (Blanco, 2004).

Hoy la cercanía entre educación y divulgación es tal, que las relaciones que anticipó el francés Philippe Roqueplo (1983) hace unas cuantas décadas en su reconocida publicación el “reparto del saber”, se han hecho insuficientes para caracterizar el entramado de interacciones que reviste este binomio. Según Roqueplo, existen cuatro relaciones claras entre la divulgación y la enseñanza:

1. *Complementariedad*. Se deriva de la necesidad de especialización de los docentes y del retraso de los programas escolares en relación con el progreso de la ciencia.

2. *Relación de dependencia directa.* La divulgación solamente será accesible y eficaz a quienes hayan recibido una enseñanza suficiente que les permita obtener un beneficio real de las novedades científicas consultadas. En el caso contrario, la divulgación corre el riesgo de convertirse en un recurso hueco o ambiguo.
3. *Dependencia negativa.* Se refiere a la falta de interés de la comunidad científica por otorgar atención a aspectos que están fuera de su dominio como el acercar la ciencia a la sociedad, así como el prejuicio que tiene la ciudadanía respecto al conocimiento científico producto en su mayoría de una enseñanza poco significativa en los niveles básicos.
4. *Dependencia Inversa.* Alude al creciente interés de la educación formal hacia la divulgación y sus productos como los museos de ciencia, exposiciones científicas, libros, revistas de divulgación y notas periodísticas.

Desde esta perspectiva, la divulgación cumple una función complementaria a la enseñanza porque llena vacíos informativos concernientes a los nuevos descubrimientos que la ciencia está desarrollando, contribuye al desarrollo de la educación permanente y fomenta actitudes positivas hacia el conocimiento científico (Calvo, 2003). En años recientes, divulgadores y educadores están coincidiendo en que la comunicación no sólo es una deseable compañía de la educación formal sino un área que hace posible la creación e implementación de novedosas herramientas didácticas que están modificando de manera importante la forma de presentar los contenidos en las aulas, como es el caso de los blogs de ciencia, las revistas divulgativas, los distintos tipos de *software* para modelar el mundo estelar, celular y nanoscópico, los enlaces químicos, los cambios en el clima, la evolución de las especies entre otras temáticas (Reynoso, 2002).

Considerando las contribuciones que están realizando los productos de la divulgación de la ciencia a la educación científica, Ángel Blanco (óp. cit.) propone estudiar su impacto en tres ejes:

- i. *Recurso didáctico.* Medios como la prensa escrita y el cine permiten fomentar actitudes positivas de los alumnos hacia la ciencia, así como hacer

significativos los aprendizajes, conectando lo que se enseña en clase con la vida cotidiana.

- ii. *Fuente de Aprendizaje.* La divulgación de la ciencia representa, indudablemente, para la mayor parte de la población escolar, una fuente importante de aprendizaje. Está constatado que las concepciones o ideas previas de los alumnos sobre la ciencia tienen orígenes muy diversos, entre los que se encuentran los discursos presentes en los medios de comunicación. Por ejemplo, algunos conceptos básicos en química (como sustancia, mezcla, compuesto o elemento) tienen distintos significados en la vida cotidiana— que es el discurso que permea a los medios de comunicación—. Estos significados trastocan el aprendizaje si no se ayuda a los alumnos a integrarlos o diferenciarlos. Los lenguajes que se utilizan en los diferentes contextos cotidianos, son una fuente de aprendizaje informal que es necesario tener en cuenta en la enseñanza de la ciencia

- iii. *Objeto de estudio.* Esta dimensión alude a la importancia de capacitar a los estudiantes en el manejo y comprensión de la ciencia presente en los medios. La razón, es que serán los vehículos que consultarán a lo largo de toda la vida. Una competencia que comienza a aparecer en los nuevos currículos de ciencia.

Las tres perspectivas son legítimas y necesarias para analizar las relaciones que se están fincando entre la divulgación y la educación científica. Sin embargo, es importante considerar que cada una de ellas sirve a propósitos o fines distintos. En la era del conocimiento y la información, los educadores no deben obviar la influencia de la comunicación de la ciencia a través de sus múltiples canales en el proceso de enseñanza, por el contrario, es necesario que reconozcan que la escuela ya no es hoy en día—al menos para los estudiantes de etapas obligatorias—, la única instancia ni la fuente más atractiva para adquirir información científica. Por consiguiente, la educación científica debe apoyarse de la comunicación de la ciencia, teniendo en cuenta que, las formas y los enfoques para hacerlo constituyen asuntos abiertos de investigación (Ibídem).

1.2.2 La presencia de la comunicación escrita de la ciencia en la educación formal

Concretamente, en lo relacionado con la incorporación de textos provenientes de los medios de comunicación en las clases de ciencias, se considera que preparar a los estudiantes para su adecuada interpretación constituye una ruta viable para suscitar aprendizajes contextualizados y reflexivos del quehacer científico. Debido a que, ofrecen información sobre temas novedosos y de interés público relacionados con la ciencia, analizan implicaciones socioculturales y muestran la relevancia que tiene la ciencia en la vida más allá del aula (Gadea y Vilchis, 2009). Además, al ser textos cortos—con poco volumen de información— pueden ser de gran utilidad en intervenciones docentes que tengan como propósito redondear el estudio de una unidad o temática en particular, promover la investigación documental y fomentar el pensamiento crítico, como es el caso de esta investigación.

En la literatura, se mencionan tres usos potenciales que se les puede dar a la lectura de textos provenientes del campo de la comunicación de la ciencia en el contexto escolar: 1) apoyar el aprendizaje de las ciencias, 2) mostrar la dimensión social de la actividad científica y 3) abordar el estudio del riesgo. En el primer caso, se trata de utilizar este tipo de fuentes para apoyar la comprensión de terminología y conceptos estudiados en el salón de clases (Hutton, 1996). Desde esta óptica, los textos informales pueden verse como provechosos recursos para monitorear la comprensión de un tema específico, así como para ampliar y reforzar su aprendizaje.

En lo respectivo a mostrar la faceta social de la actividad científica, se señala que el hecho de llevar un periódico a una clase de ciencias o dedicar una sesión para buscar en la red material informativo sobre un contenido curricular, constituye un acto que empieza a tender un puente entre ciencia y sociedad. Aunado a ello, este tipo de publicaciones, se caracterizan por examinar las virtudes y limitaciones de la empresa científica en la resolución de problemas que impactan la vida de las personas, por incorporar en su discurso la pugna de intereses alrededor de las aplicaciones o productos que emergen de esta actividad, por indagar sobre el ejercicio de valores, derechos y obligaciones de los agentes implicados alrededor de un tema o problemática en cuestión. En otras palabras, suelen abordar cuestiones científicas que interesan o afectan al individuo como ciudadano, esto es, como una persona con voz, derechos, intereses y responsabilidades. Razón por la cual, algunos

autores suelen considerar a estas fuentes como materiales vivos y vehículos idóneos para dar cauce a la denominada educación ciudadana (Ratcliffe & Harris, 2004).

En lo concerniente al tercer uso de este tipo de materiales de lectura, se sabe que son medios eficaces para alertar a la población sobre cualquier tipo de riesgo. En el caso concreto de la ciencia, este se suele vincular con las consecuencias que se derivan de la práctica científica. Hay una serie de factores que se debe tomar en cuenta para al abordar esta noción en las aulas, como su naturaleza, escala, si es calculado y consensado o fortuito e impuesto, etc. Lo cierto es, que en un mundo donde pocas son las cosas que pueden darse por seguras o sentadas, el estudio del riesgo se devela como un contenido trascendental en la educación actual (Garritz, 2010). Por consiguiente, la información científica presente en los medios puede ser de gran utilidad para incorporar el análisis del riesgo en el estudio de temáticas de frontera (ciencia que se está haciendo). Para que la consulta de este tipo de textos contribuya al análisis de las incertidumbres científicas, se hace necesario que se promueva una respuesta crítica hacia esta clase de información, pues el entendimiento y manejo del riesgo requiere movilizar de forma coherente conocimientos sobre ciencia, ética y ciudadanía.

Finalmente, una ventaja adicional asociada con la utilización de noticias y artículos divulgativos, es que posibilitan a los estudiantes ampliar sus experiencias de aprendizaje. Un aspecto digno de considerar, porque si los jóvenes en el proceso educativo únicamente tienen contacto con un sólo tipo de materiales de lectura— libros de texto o manuales de laboratorio— es difícil pensar que se convertirán en personas científicamente cultas.

1.3 Estado del arte sobre la incorporación de textos informales en la educación científica

En esta sección, se expone de forma breve la importancia que tiene la lectura en el proceso de enseñanza de las ciencias, ya que este análisis permite contextualizar los resultados que se han reportado en la literatura sobre la utilización del discurso mediático sobre ciencia y tecnología en las aulas. Estos, se presentan en dos subapartados, los que se centran en la labor docente y los que están focalizados en el aprendizaje, es decir, en el trabajo con los estudiantes.

1.3.1 La importancia de la lectura en el proceso de enseñanza de las ciencias

La lectura constituye uno de los pilares sobre los que está cimentada la educación, gracias a ella es posible desarrollar una serie de habilidades y estrategias cognitivas que se ponen en marcha durante toda la vida. En tratados educativos internacionales como el proyecto PISA-OCDE, la definen como una competencia² basada en comprender, analizar y utilizar textos escritos con el fin de lograr objetivos personales, desarrollar conocimientos y posibilidades que faciliten la participación plena en la sociedad (OCDE, 2007).

La lectura, ya sea dentro como fuera del aula permite que los estudiantes se apropien de nuevos conocimientos, aprendan el lenguaje de la ciencia y puedan confrontar sus puntos de vista con otras personas (Marbá y Márquez, 2009). Por ello, la educación científica debería estimular más el placer por la lectura, pues es una labor que contribuye a edificar una formación integral en el estudiantado. Sin embargo, la tendencia no ha ido en esta dirección. La falta de interés del alumnado sobre los textos científicos tradicionales —y por la ciencia en general—, ha ocasionado que los docentes simplifiquen al máximo la actividad lectora. Como resultado predomina en los salones de clase la revisión de manuales, folletos, diapositivas y secciones de libros de textos como estrategia tanto para memorizar como para dominar información, en lugar de procesos críticos centrados en su interpretación.

Prueba de lo anterior, son los resultados que ofrece PISA en sus informes sobre competencia lectora en el área de ciencias. Según este organismo, en la mayoría de los países que lo integran, un gran número de estudiantes no es capaz de comprender lo que lee cuando lee ciencia (OCDE, 2010). Sus estudios, están mostrando que la mayoría de los alumnos pueden recordar que han leído algo sobre ciencia, pero no utilizar esta información para ejercer el pensamiento y obtener algún beneficio sociocultural.

Para revertir esta situación, varios académicos han planteado la necesidad de redimensionar el papel de la lectura en la educación científica, así como ampliar el abanico de recursos textuales presentes en la enseñanza. En el primer caso, existe el

² En el ámbito de la educación se entiende por competencia a un conjunto de habilidades cognitivas, sensoriales, psicológicas y socio-afectivas que un sujeto moviliza para llevar exitosamente una actividad.

consenso de que la lectura va más allá de ser un simple instrumento para la transmisión del conocimiento, contemplándose como una actividad que permite contrastar las ideas y teorías de la ciencia con las creencias de un lector, posibilitando con ello, que estas sean revisadas, modificadas o reforzadas. Por ejemplo, Olson (2001) define a la lectura como una tarea epistemológica donde un sujeto interactúa con tres mundos distintos: el mundo de papel representado por un texto, el mundo del lector con sus ideas previas y el mundo exterior con su contexto. De esto se sigue, el reconocimiento de que los textos no son los que proveen significados en el proceso de lectura, sino la materia prima a partir de la cual cada persona puede construir conocimientos (Márquez y Prat, 2005). En otras palabras, lo valioso es el contexto porque este demarca el por qué y para qué leer.

En lo referente al uso de materiales de lectura de distintos géneros en las clases de ciencias, el filósofo Daniel Cassany (2010) sostiene que la pertinencia de preparar a los jóvenes a interpretar todo tipo de textos, se debe a que esta labor coadyuva a edificar un verdadero saber social. Esto, si se considera que interpretar requiere tomar conciencia del valor y el uso que tiene un texto tanto en el plano individual como en el colectivo. Para el logro de este objetivo, este autor invita a tomar en cuenta las siguientes acciones:

- *Utilización de textos auténticos.* Se refiere a la búsqueda y utilización de textos relacionados con el entorno de los estudiantes o de sus temas de interés. Es importante, respetar los formatos, el diseño y la presentación original, para que los alumnos mantengan su interés en ellos.
- *Uso de textos paralelos, opuestos o relacionados.* El uso de textos paralelos u opuestos— que cuestionan o muestran rechazo a un contenido en estudio—pueden ser útiles, para que los alumnos comparen diferentes puntos de vista, establezcan acuerdos y desacuerdos, y puedan experimentar los efectos sociales que provoca el lenguaje. Por el contrario, las tareas de lectura de textos aislados son más irreales y descontextualizadas.
- *Inclusión de textos multimedia.* Llevar al aula fotografías, gráficos, infografías y vídeos, forma parte del acto de leer, porque las imágenes se integran en la escritura y porque para referimos a ellas necesitamos las palabras. Las tareas de describir imágenes, vídeos contribuyen al desarrollo de capacidades expresivas y al uso del lenguaje especializado.
- *Evitar la respuesta única o la corrección convergente.* Las tareas de lectura que persiguen una respuesta única, la correcta o preestablecida por el profesor o el libro de texto matan la interpretación personal y transfieren la falsa percepción de que hay un único significado en un texto, de que todos leemos del mismo modo y de que quien ha entendido algo distinto es porque

lee mal. Por el contrario, se cree que son más interesantes las tareas divergentes, que fomentan respuestas individuales, extensas y razonadas, que permiten al alumno desarrollar puntos de vista.

- *Indagar sobre el propósito y el punto de vista del autor.* La tarea tradicional de buscar la idea principal debe ser sustituida por otras que adoptan una perspectiva más social: *¿qué pretende el texto?, ¿por qué lo escribió el autor?* Sin duda, son preguntas más difíciles que exigen haber comprendido antes las ideas principales del texto (óp. cit.).

Por lo expuesto es posible aseverar que, impulsar la lectura en la educación científica ofrece importantes ventajas en la formación de los estudiantes como favorecer la argumentación, el dialogo, así como la búsqueda de certezas en el trabajo intelectual. Por ende, uno de los retos actuales del profesorado es conseguir que una vez que el alumnado haya finalizado la educación obligatoria, siga leyendo e intentando interpretar la ciencia en la medida de sus posibilidades, que comprenda que la lectura de un texto científico puede ser una aventura tan apasionante y placentera como leer una prestigiosa novela o mirar un intrigante filme.

Como se ha señalado en páginas anteriores, el análisis de textos provenientes de la comunicación pública de la ciencia —notas periodísticas y artículos divulgativos— en el entorno escolar, es una línea de investigación que ha cobrado importancia en los últimos años porque está contribuyendo a diversificar tanto los objetivos como los escenarios y métodos de aprendizaje (UNESCO, 2006). Además, algunos trabajos que guardan cercanía con esta labor están indicando que este tipo de publicaciones ofrecen mejores resultados en la evaluación de la competencia lectora porque gozan de mayor aceptación entre los estudiantes (Goncalves, 2010).

La idea de analizar textos de naturaleza mediática en las clases de ciencias gira en torno a dos cuestiones. Por un lado, para la mayoría de las personas con independencia de su grado escolar o formación, los textos presentes en los medios son una de las principales vías de información sobre ciencia y tecnología, lo que los convierte en importantes recursos comunicativos. Por el otro, por su alta carga de subjetividad pueden moldear malintencionadamente las conciencias, las opiniones e inclusive las acciones de las personas. Por consiguiente, resulta crucial preparar desde la escuela a los jóvenes para que puedan interpretar y utilizar este tipo de información de forma apropiada.

Acorde con lo anterior, una educación que contemple entre sus objetivos la apropiación cultural del conocimiento científico debe promover formas que hagan posible el análisis crítico de la ciencia presente en los medios. Según Phillips y Norris (1999), los estudiantes cuando se enfrentan a un texto científico informal pueden posicionarse epistemológicamente de tres formas: 1) adoptar una postura débil o pasiva hacia un material de lectura, permitiendo que éste se imponga a sus conocimientos previos, al grado de llegar a interpretaciones contrarias a sus propias ideas, 2) asumir una postura dominante, lo que se asocia con mostrar una exacerbada confianza en sus conocimientos o creencias previas condicionando los contenidos presentes en un texto a estas, lo que imposibilita su adecuada internalización y 3) desarrollar un posicionamiento crítico, entendido como la capacidad de emprender una negociación interactiva entre el texto y las ideas previas del sujeto que lee con la finalidad de que la interpretación resultante del proceso sea lo más completa posible.

Esta última, es una postura afín con la meta central de este estudio, pues busca que los jóvenes no solamente lleguen a comprender los datos o contenidos científicos presentes en una publicación, sino que sean capaces de construir significados, indagar acerca de su veracidad, formular opiniones y adoptar una posición en torno a un tema con base en razones fundamentadas.

1.3.2 La comunicación escrita de la ciencia en la práctica docente

Trabajos pioneros sobre cómo es asumida por los docentes la utilización de textos informativos en la enseñanza de las disciplinas científicas, se le atribuyen al inglés Jerry Wellington (1991), quién trata de dar respuesta a la siguiente interrogante: ¿la información científica que aparece en los periódicos complementa o entra en conflicto con los objetivos educativos presentes en los currículos de ciencias? La respuesta que ofrece este investigador es que la falta de rigor y de objetividad que caracteriza a este tipo de fuentes puede trastocar el proceso de aprendizaje de la ciencia. A pesar de ello, considera que su análisis representa una excelente oportunidad para integrar la ciencia escolar con la vida real. Por tal, recomienda para afrontar el problema antes descrito, que la lectura de recursos periodísticos se dé siempre con el apoyo del profesor y en combinación de materiales más rigurosos, como es el caso de los libros de texto.

Según Millar y Osborne (1998), para que la comunicación escrita de la ciencia se convierta en un medio que potencie la reflexión sobre aspectos relacionados con el acontecer científico, resulta imprescindible que los profesores formulen y comuniquen previamente a los estudiantes metas de aprendizaje claras, las cuales tengan relación directa con el marco conceptual de la asignatura que imparten. Además, su utilización debe responder a un programa sistemático arduamente planificado, de lo contrario coinciden con Wellington en que el análisis de este tipo de fuentes puede generar dispersión, ambigüedad e ideas confusas en el trabajo educativo. En este trabajo, se comparte esta idea pues si los docentes no se comprometen y asumen con seriedad la complejidad que representa esta labor resulta difícil la obtención de resultados favorables.

Por su parte, Jarman y McClune (2002 y 2011) —dos académicos que han trabajado en esta área de investigación por décadas— ofrecen una serie de datos interesantes sobre como utilizan los profesores el material periodístico en sus clases. Sus hallazgos, se muestran en la tabla 2 y son el resultado de una encuesta realizada a docentes, investigadores y comunicadores en Irlanda del Norte.

Tabla 2. Síntesis de resultados relacionados con el uso que hacen los profesores de artículos periodísticos que abordan contenidos científicos. Tomada de Jarman y McClune (2011).

- Un elevado número de profesores utilizan periódicos como material de apoyo en la enseñanza (el 92% de los encuestados).
- La mayoría los utiliza de manera accidental o esporádica, ya sea para evaluar habilidades de comprensión o para enriquecer las exposiciones de los estudiantes.
- Los profesores que utilizan recursos informativos generalmente lo hacen por iniciativa propia y no como resultado de normas o estrategias que gocen de reconocimiento oficial. A menudo, es una actividad que aparece en los denominados clubes de lectura donde participan únicamente los estudiantes de grados superiores y más capaces.
- Casi la totalidad de los encuestados indicó que utilizan las noticias de corte científico para ilustrar el vínculo que existe entre la ciencia escolar y el mundo real o para reforzar conceptos estudiados previamente.
- Todos los educadores reconocieron que una meta importante que se asocia con el uso de textos informativos es el propiciar una respuesta crítica en el estudiantado. Sin embargo, el 84% manifestó sentirse incomodos si se les encomendara llevar a cabo esta labor debido a que no cuentan con la formación suficiente.
- El trabajo alrededor de las publicaciones periodísticas suele reducirse a un nicho limitado de estrategias didácticas (resolución de cuestionarios donde predominan las preguntas cerradas o literales, la elaboración de resúmenes y exposiciones).
- La gran cantidad de contenidos presentes en los currículos de las asignaturas científicas, así como el predominio de esquemas de evaluación donde las posibilidades de éxito recaen mayoritariamente en lo conceptual hacen que los profesores contemplen el análisis crítico de la ciencia en los medios como una tarea no prioritaria.

Lo reportado en la tabla 2, es una muestra de que, en naciones desarrolladas, como es el caso del Reino Unido (UK)—donde sus programas de estudio suelen estar acorde con lo que reivindican los tratados educativos modernos—, aún subsisten en la práctica docente remanentes muy marcados del neopositivismo, un obstáculo que impide que el análisis de la ciencia en los medios adquiera la relevancia adjudicada en la literatura. También explica el por qué, esta actividad continúa siendo como un mar con importantes regiones sin cartografiar. En el contexto iberoamericano, el escenario es similar e inclusive más adverso, debido a que el apoyo que recibe la ciencia en sus diferentes rubros—investigación, enseñanza y comunicación— es más limitado. No obstante, lo descrito en párrafos anteriores respalda lo pertinente que es esta investigación.

1.3.3 La comunicación escrita de la ciencia en el aprendizaje

En trabajos centrados en las experiencias de aprendizaje con la lectura de textos informales, se menciona que los estudiantes tanto del nivel bachillerato como de los primeros cursos universitarios tienden a sobreestimar el grado de certidumbre y la veracidad de lo leído en estas fuentes, esto al otorgar en su interpretación mayor certeza de lo que en realidad se presenta en ellas (Norris & Phillips, 1994 y 2003). Para los académicos canadienses antes citados, este resultado dificulta el desarrollo de posiciones críticas, puesto que los jóvenes al mostrar capacidades limitadas para cuestionar tienden a confiar de manera ingenua en esta clase de información. En el caso de los estudiantes universitarios, los autores reportan que a pesar de mostrar mayor confianza y calificar la lectura de textos informativos como una tarea menor o cotidiana, en realidad su desempeño dista mucho de esta percepción. Un hecho que demuestra lo compleja que puede llegar a ser esta tarea.

Por su parte, los académicos griegos Halkia y Matzouridis (óp. cit.) examinaron la percepción y las actitudes de los estudiantes de secundaria (edad de 14-17 años) hacia los productos de la comunicación escrita de la ciencia. Sus hallazgos indican que la mayoría de los adolescentes encuestados no leen con regularidad los periódicos y prefieren las revistas de divulgación cuando han decidido leer algo sobre ciencia. Estos autores mencionan que, los alumnos de manera general suelen responder positivamente a la lectura y el análisis de artículos informales tanto por su formato como por el tipo de temáticas que abordan, pero principalmente, por su lenguaje analógico, preciso, sencillo y emotivo con el que presentan los contenidos.

En el escenario iberoamericano destacan los trabajos realizados por el profesor Mariano Gordillo (2003 y 2005) adscrito a la OEI—Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura—, así como de las investigadoras Begoña Oliveras y Neus Sanmartí (2009; 2012 y 2013). En el primer caso, el autor señala que analizar textos periodísticos mediante lo que ha denominado como casos simulados³, puede servir como contexto para dimensionar socialmente el aprendizaje de la ciencia, promover la deliberación racional, el diálogo y la participación en las aulas.

En concordancia con la visión de lectura crítica de Phillips y Norris descrita en párrafos anteriores, las educadoras Oliveras y Sanmartí (2009) han desarrollado y probado en método de lectura denominado C.R.I.T.I.C., el cual busca fomentar aprendizajes significativos mediante la utilización de todo tipo de textos. Para estas autoras, el análisis crítico de una publicación requiere de la activación de un modelo teórico o disciplinar alrededor del cual, se valida información, se contrastan ideas, se examinan puntos de vista y se realizan inferencias.

Finalmente, desde un enfoque cercano con esta visión McClune y Jarman (2012) sostienen que, en el ámbito del aprendizaje de la ciencia generar una respuesta crítica hacia la información presente en los medios escritos permite la construcción de opiniones informadas, así como el desarrollo de actitudes positivas hacia el trabajo de los científicos. Para generar elementos de pensamiento crítico, estos académicos han propuesto un modelo operacional que alude a la coherencia entre cuatro dominios: conocimientos sobre ciencia, destrezas alfabéticas, conciencia en los medios y actitudes. El valor de esta propuesta estriba en que representa una ruta amplia, sistemática y progresiva para impulsar en el estudiantado el logro de posiciones críticas hacia el discurso mediático sobre ciencia y tecnología. En la tabla 3, se resumen los resultados claves que se han reportado alrededor del uso de la ciencia en los medios en el aprovechamiento escolar.

Los trabajos de Gordillo como los de Oliveras y Sanmartí serán retomados en el tercer apartado de esta tesis, pues son referentes en la labor metodológica llevada a cabo. Mientras que, el modelo operacional de Jarman y McClune será una referencia constante porque encaminó y dio sentido a la propuesta de análisis reportada en esta investigación.

³ Estrategias docentes creadas para dar cauce al abordaje de controversias o problemas reales que permitan ejemplificar la dinámica que se da entre ciencia, tecnología y sociedad.

Tabla 3. Síntesis de resultados encontrados sobre la respuesta de los estudiantes hacia los textos provenientes del campo de la comunicación de la ciencia.

- Los estudiantes tienden a sobrestimar el grado de certidumbre y la veracidad expresado en materiales informativos de corte científico.
- Los alumnos tienden a adoptar una postura débil o pasiva frente a lo que leen en publicaciones mediáticas, solamente una minoría se posiciona críticamente frente a este tipo de información.
- Los jóvenes que inician la universidad manifiestan una inusitada confianza en la evaluación crítica de la ciencia en los medios, la cual no corresponde con su desempeño intelectual.
- Los estudiantes responden positivamente al código de comunicación de las publicaciones científicas de naturaleza mediática, especialmente a su estructura y emotividad discursiva.
- Cuando se utilizan este tipo de textos en escenarios pedagógicos previamente planificados, pueden servir como contexto para promover la deliberación, la participación y el desarrollo de actitudes positivas hacia la ciencia.
- Cuando se utilizan este tipo de textos en escenarios pedagógicos previamente planificados, representan una gran oportunidad para conectar la ciencia escolar con el mundo real, contextualizar información, reforzar y activar contenidos científicos e impulsar tanto la coherencia como la argumentación en el aprendizaje.

Como cierre de este capítulo, se puede aseverar que en un contexto donde se tiene el privilegio de contar con una producción como nunca en materia de comunicación escrita de la ciencia, sería una imperdonable omisión por parte de los educadores no aprovechar este arsenal informativo para enriquecer la formación de los estudiantes, para ayudarlos a pensar el conocimiento científico como lo que es, un preciado bien intelectual, social y cultural. En el siguiente capítulo, se analiza la noción que dota de sentido a la presencia de la comunicación escrita de la ciencia en esta investigación, el desarrollo del pensamiento crítico.

II. EL PENSAMIENTO CRÍTICO

En un contexto donde impera el flujo constante de información, el riesgo y la incertidumbre asociada a problemáticas complejas, promover el desarrollo de habilidades para analizar, argumentar y discernir adquiere relevancia. No es de extrañar entonces que, en el discurso social, cultural y educativo el término pensamiento crítico (PC) sea uno de los más mencionados. El resurgimiento y la fuerza que ha cobrado esta noción, se debe a que se le percibe como un logro epistémico que dota de rigor, autonomía e integridad a la vida intelectual de las personas (UNESCO, 2006).

En el contexto de la educación formal, se le suele contemplar como un medio que favorece la comprensión significativa y reflexiva de los contenidos disciplinares, la resolución de problemas, así como la toma de decisiones. A pesar de su amplio reconocimiento, la evidencia disponible indica que, el PC se promueve poco de manera sistemática en todos los niveles de estudio (Wright, 2001 y Fancione, 2007). Una de las razones de peso que explican esta tendencia, es la falta de claridad que impera en los docentes sobre lo que significa pensar críticamente, es decir, sobre sus objetivos, alcances, así como su valor dentro como fuera de las aulas. Pues, enseñar a pensar críticamente presupone una concepción clara del PC en la mente del profesor (Paul y Elder, 2006).

Este capítulo trata de contribuir a hacer frente a este vacío conceptual en el campo de la enseñanza de las ciencias. Para ello, se ofrece una caracterización del PC consistente con los requerimientos epistémicos que demanda esta labor. Dada la polisemia del término, como prefacio se precisa el significado de las dos palabras que lo componen y se traza una diferenciación del uso histórico que se le ha dado en el ámbito de la filosofía. Se centra la atención en la visión de PC que se desprende de la tradición analítica, ya que además de ser cercana con el uso que se reporta sobre este término en el ámbito de la investigación educativa, le da contexto al trabajo reportado en esta tesis. Al final de este aparatado, se discute el papel que juega este proceso epistémico en la enseñanza de las ciencias.

2.1 Caracterización del pensamiento crítico

El término pensamiento es un sustantivo que proviene del latín *pensare* y que hace alusión al verbo pensar, una acción que según la literatura se asocia con la capacidad de recrear la realidad mediante estímulos interno y externos para diferentes fines. Actualmente, existe un debate en la forma que interactúa dichos estímulos y en las metas que deben contemplarse en el horizonte del pensamiento. Como en el caso del conocimiento existe una gamma de teorías internistas y externistas para explicar el acto de pensar. Por razones prácticas, y debido que no es menester en este trabajo indagar sobre este debate, se toma como definición de pensamiento la que ofrece Manuel de Vega (1990), puesto que es una de las más aceptadas en el campo de la psicología cognitiva. Según este autor, se entiende como pensamiento a una actividad compleja del sistema cognitivo que surge cuando nos enfrentamos a una tarea o un problema, con un objetivo definido y con cierto nivel de incertidumbre en la forma de su realización.

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

Tomando en cuenta lo mencionado en párrafos anteriores, se puede considerar al PC como una acción intelectual encaminada al análisis o problematización racional de un tema, fenómeno o hecho de interés. Su propósito es generar cuestionamientos, mejores juicios y razonamientos orientados a una comprensión exitosa del mundo. Ahora bien, como se ha señalado el estudio del PC se ha desarrollado en diferentes esferas del conocimiento, no obstante, por el enfoque que han dado a este término, su definición puede situarse dentro de dos vertientes generales, la correspondiente a las disciplinas sociales y la proveniente de la filosofía analítica, particularmente del área de la lógica y la epistemología.

2.1.1 *El pensamiento crítico en la filosofía continental*

En el ámbito de las humanidades, el PC tradicionalmente ha tenido como fundamento el compromiso ético y político con el bienestar de la humanidad. Es un término que ha acompañado a la historia del pensamiento de izquierda, por tal tiene como antecedentes directos las utopías de Thomas Moro (1478-1535), los planteamientos del manifiesto de los iguales de Sylvain Maréchal (1750-1803) y Babeuf Gracchus (1760-1797) en el siglo XVIII, los escritos de los socialistas utópicos del siglo XIX como Charles Fourier (1772-1837). En la literatura se señala que, la primera sistematización que se da del PC bajo esta óptica, la iniciaron Carlos Marx (1818-1883) y Federico Engels (1820-1895) al sustentar planteamientos innovadores que promovían cambios en la organización del tejido social, estos se extendieron vigorosamente alrededor del mundo dando lugar al surgimiento de diversos movimientos revolucionarios. El segundo momento, se dio en el instituto de investigaciones sociales de la ciudad de Frankfurt, con la participación activa de pensadores como Walter Benjamin (1892-1940), Erich Fromm (1900-1980), Franz Neumann (1900-1954) y Herbert Marcuse (1898-1979), quienes desarrollaron una teoría del pensamiento crítico denominada Teoría Crítica de la Humanidad. Su objetivo central era la renovación del marxismo desde una perspectiva interdisciplinar y promover el distanciamiento con la unión soviética, la obra de esta agrupación intelectual se popularizó con el nombre de escuela de Frankfurt.

El tercer y último momento del PC en las disciplinas sociales está representado por la siguiente generación formada en la escuela de Frankfurt. Tal es el caso, de los escritos de Karl-Otto Apel, Oscar Negt y Jürgen Habermas. Aunque no son herederos directos del pensamiento de Frankfurt, se suele asociar a esta corriente al sociólogo Pierre Bourdieu (1930-2002), al economista Samir Amin y al destacado lingüista Noam Chomsky. Aunque, en la obra de estos intelectuales contemporáneos hay un notable abandono del marxismo, en sus escritos se puede advertir una constante crítica al poder económico mundial y la búsqueda por una organización política, económica y social más justa.

Esta forma particular de entender la criticidad moldeó de manera significativa el desarrollo del pensamiento iberoamericano, icónicos personajes vinculados a la educación como José Martí (1877-1895), Paulo Freire (1921-1997), Adolfo Sánchez Vázquez (1915-2011) y Hugo Zemmelman (1931-2013) fueron impulsores de orientar la crítica hacia la transformación social. Un caso paradigmático en el país es la obra

de Pablo González Casanova quién ha contribuido de manera sobresaliente al crecimiento e identidad de nuestra UNAM. En el presente, el PC en el campo de las ciencias sociales y humanidades sigue siendo sinónimo de pensamiento liberador, pensamiento de izquierda, pensamiento de cambio o pensamiento altermundista (Saladino, 2012).

2.1.2 *El pensamiento crítico en la filosofía analítica*

Si bien, la noción de PC adoptada en este trabajo de tesis comparte la visión de un compromiso ético con el desarrollo intelectual y social, sus antecedentes son más modestos—de naturaleza académica—, por lo que poco tienen que ver con planteamientos revolucionarios. En cuanto a sus objetivos, estos se vinculan más con el desarrollo y la integridad intelectual de las personas, lo que le hace una visión muy pertinente para dimensionar aspectos concernientes a los dos ejes que articulan esta investigación, la comunicación y enseñanza de la ciencia.

En palabras del filósofo mexicano Alejandro Herrera (2008), la expresión “critical thinking” (pensamiento crítico) en el ámbito de la filosofía del lenguaje comenzó a figurar a mediados de la década de los setentas. Esto se dio con un movimiento que se generó en países anglosajones—Canadá, Estados Unidos e Inglaterra— por profesores insatisfechos con los logros de aprendizaje obtenidos en los cursos tradicionales de lógica formal o proposicional. Como alternativa este movimiento académico promovió la enseñanza del PC. Uno de los primeros filósofos en hacer uso del término de PC como título de un libro de lógica fue Max Black (1952). Posteriormente, para referenciar su estudio se usaron títulos como lógica práctica, lógica aplicada y lógica informal, siendo este último el que logro mayor aceptación.

Herrera narra también, que fue en el año de 1978 cuando se ofrece una primera definición de la lógica informal, esto ocurrió en las páginas del *Informal Logic Newsletter*, la publicación especializada en este nuevo campo de estudio de la lógica. En su primer número, la lógica informal fue definida por dos vías—negativa y positiva—, en la primera como todo lo que no podía ser publicado en *The Journal of Symbolic Logic* (la revista de lógica simbólica), mientras que, en la segunda, como una gamma de cuestiones teóricas y prácticas que surgen al examinar desde un punto de vista normativo, los razonamientos cotidianos de las personas. Otros trabajos que trazaron un puente común con la lógica informal fueron los referentes a la argumentación y la retórica. En estos sobresalen la obra de los filósofos Stephen

Toulmin (1922-2009) y Chaim Perelman (1912-1984) respectivamente. En términos generales, la argumentación puede definirse como el proceso de ofrecer razones a favor de una conclusión. Por su parte, la retórica tiene como objetivo persuadir a un interlocutor mediante el uso razonable de la argumentación.

En la lógica informal, la argumentación es vista como un proceso donde la validez de un argumento no es demostrable, esto es, no es una cualidad objetiva transferida de las premisas a la conclusión, sino que es posible admitir su carácter razonable, a partir de lo que un auditorio o comunidad informada admite en un proceso deliberativo (Toulmin, 2006). De manera que, las tesis iniciales en una argumentación pueden ser lugares comunes, es decir, ideas que son aceptadas por el sentido común, conocimientos ampliamente consolidados en el seno de una disciplina específica e inclusive prácticas sociales propias de una comunidad. En consecuencia, al apoyarse sobre hechos, principios, opiniones y valores admitidos por el auditorio, es en gran medida un proceso contextual, lo que impide su formalización.

Considerando lo anterior, el PC inscrito en la lógica informal tiene como objetivo analizar la estructura del razonamiento sobre cuestiones cotidianas o significativas, y tiene una doble faceta analítica y evaluativa. Por un lado, se propone superar el mecanicismo inherente a la lógica deductiva, por el otro, intenta suscitar el entendimiento y la evaluación de argumentos en sus hábitats naturales, como es el caso del jurídico, estético, ético, científico, político, etc. (Herrera, óp. cit.). Actualmente, existen numerosas publicaciones, foros y agrupaciones académicas donde se debate aspectos relacionados con la lógica informal, el PC y la argumentación¹. Aunque vale mencionar que, muchos trabajos relacionados con el desarrollo y análisis de esta visión del PC transcurren también en las páginas de revistas, así como en foros de discusión que forman parte del campo de la investigación educativa.

¹ En lo referente a editoriales especializadas destacan *Informal Logic, Argumentation, Philosophy and Rhetoric, Critical Thinking Across the Disciplines, Teaching Philosophy, Thinking: The Journal of Philosophy for Children*. En el habla hispana, la revista argentina *Ergo*, *La Revista Iberoamericana de Argumentación*, el boletín de la Academia Mexicana de Lógica *Modus Ponens* y las memorias de los encuentros internacionales sobre didáctica de la lógica. En cuanto asociaciones, se encuentra la Association for Informal Logic and Critical Thinking (ALICT) que sesiona anualmente junto con la American Philosophical Association (APA) y The Foundation for Critical Thinking (The Critical Thinking Community) fundada por Richard Paul, la cual agrupa a las asociaciones estadounidenses más reconocidas en el campo.

2.2 La acepción analítica del pensamiento crítico: el grupo de los cinco

Con el fin de mostrar el sentido que guarda el PC en el contexto de la lógica informal, en este subapartado se ofrecen las definiciones propuestas por el denominado grupo de los cinco², es decir, por los autores que se consideran más representativos en el campo. Aunque, como complemento de este análisis se citan algunas aportaciones provenientes de trabajos recientes.

Una de las primeras descripciones del PC que se pueden rastrear en la literatura, la realizó John McPeck (1981), al señalar que es la habilidad y la propensión a comprometerse en una actividad con escepticismo reflexivo. Para este autor, la condición escéptica permite identificar las mejores razones alrededor de una idea, las cuales dependen tanto de la epistemología como de las normas relativas de cada disciplina. Así, el PC puede variar entre una disciplina y otra. Por tanto, no puede entenderse como un conjunto de habilidades universales fácilmente transferibles. Según este autor, para que las habilidades de PC aprendidas en un contexto de conocimiento puedan ser trasladadas a otro, es necesario que exista una marcada conexión disciplinar, de lo contrario resultaría muy complicado. Este señalamiento de Mcpeck fue muy polémico en su tiempo y poco compartido, por lo que su definición es poco referenciada. Sin embargo, se le considera un pionero en los estudios acerca de la criticidad del pensamiento.

Por otra parte, Robert Ennis (1985) señala que el PC es una forma de pensar que se orienta a una decisión de creer o hacer. Dicha orientación, alude a un tipo de pensamiento que es autodirigido de manera consiente, es decir, que no acontece por accidente o arbitrariamente. Según este académico norteamericano, con el ejercicio del PC es posible evaluar las ideas que hemos decidido creer y los actos que emprendemos, es decir, es una forma de sustento intelectual. En un trabajo posterior (1993), Ennis resume en 10 elementos, el perfil que debe poseer un pensador crítico y precisa que estos pueden ser la base para promover el PC en la educación formal. Dichos elementos se muestran en la tabla 1.

² Denominación acuñada por el filósofo Ralph Johnson (1992), para denotar a los autores más destacados en el análisis de la acepción del pensamiento crítico en la educación.

Tabla.1 El perfil de un pensador crítico, según Ennis (1993)³.

Elementos que caracterizan al pensamiento crítico
1. Evaluación de la credibilidad de las fuentes.
2. Reconocimiento de las conclusiones, razones y suposiciones.
3. Valoración de la calidad de un argumento (aceptabilidad de las razones, suposiciones y hechos en los que se apoya).
4. Elaboración de un punto de vista propio sobre un tema.
5. Formulación de proposiciones y aclaración pertinentes.
6. Concepción y evaluación de la experiencia.
7. Definición de términos en función del contexto.
8. Manifestación de una mente abierta.
9. Realizar un esfuerzo constante por estar bien informado sobre un área de interés.
10. Formulación de conclusiones.

Otra definición que se considera relevante, es la ofrecida por Harvey Siegel (1989), quién presenta al PC como una forma de razonamiento coherente que ejerce una persona que piensa y actúa con base en razones. Para explicar su idea sobre la criticidad, este autor estableció una conexión entre el PC y la racionalidad. Según Siegel, la racionalidad del pensamiento reside en dos elementos, los conceptos de principio y la coherencia. Los principios son los que dotan de pertinencia y fuerza a las razones, estos pueden ser de dos tipos, los que son propios de un área de conocimiento específica y los principios generales asociados a la cognición—como la inducción o la deducción—. Por consiguiente, un individuo que piensa críticamente debe ser capaz de reconocerlos y utilizarlos de manera coherente, esto es, sin contradicciones. Aunado a ello, propone un elemento adicional al que denomina espíritu crítico, el cual no es más que la invitación a desarrollar hábitos o actitudes intelectuales que sean congruentes con las razones que fundamentan una cognición crítica. Sin embargo, no ahonda en su descripción.

Paralelamente, Mathew Lipmann (1991) —un pedagogo, filósofo e iniciador del campo de la filosofía para niños— definió al PC como un tipo de razonamiento autocorrectivo que potencia la capacidad de establecer juicios razonables y es sensible al contexto de su aplicación. Para este pensador, son dos criterios los que dotan de validez a la construcción de juicios a los que clasifica como meta y megacriterios. Los primeros se relacionan con la coherencia, la fuerza y la

³ Este recurso es una reelaboración de la tabla presente en: Boisvert, J. 2004. *La formación del pensamiento crítico*, FCE, México, p.35

pertinencia de los razonamientos alrededor de un tema. Mientras que los segundos apelan a lo verdadero, lo falso, lo justo y lo bello, es decir, son cualidades valorativas universales o de orden superior que suelen estar presentes en la formulación de juicios. La aportación más valiosa de Lipmann a la noción de PC fue la posibilidad de autocorrección. Esto al señalar, que buena parte de los pensamientos se suelen formar por procesos asociativos no críticos, como la memorización donde la veracidad y la validez no son importantes. La detección de debilidades en el pensamiento para su rectificación enriqueció el estudio de la reflexión crítica.

En la contemporaneidad, uno de los autores más citados al definir el PC es Richard Paul (1940-2015), quién junto con Gerald Nosich fundó la *Critical Thinking Community*. Los escritos editados por esta organización son los que están guiando de manera importante el trabajo educativo alrededor del tema. De ahí que, sea su visión la que da sustento teórico a este trabajo doctoral. Una primera definición que ofreció Paul (1992) sobre el PC, fue el de un proceso intelectual que consiste en conceptualizar, aplicar, analizar, sintetizar y evaluar activamente información reunida a partir de, o generada por, la observación, la experiencia, la reflexión, el razonamiento o la comunicación, como una guía para el conocimiento y la acción. Para este filósofo, la criticidad puede ser orientada a una variedad de temas y disciplinas, como es el caso del pensamiento científico, matemático, histórico, antropológico, ético, filosófico, etc. En su obra indica que está en la naturaleza humana pensar, pero que gran parte de nuestro pensamiento por descuido o alienación suele estar prejuiciado o distorsionado por lo que es apremiante autocorregirlo, ya que una mala calidad del pensamiento es un defecto costoso tanto en el plano económico como en la vida privada y social. La conceptualización de Paul ha evolucionado en los últimos años haciéndose más sistemática y precisa. Dado que, su visión representa un referente en esta tesis, su análisis se expone con mayor amplitud en la siguiente sección del presente capítulo.

Trabajos recientes sobre el PC lo definen como el juicio autorregulado y dirigido hacia una meta específica, el cual da como resultado la interpretación, el análisis, la evaluación y la inferencia, como también la explicación de las consideraciones de evidencia, conceptuales, metodológicas o contextuales en las cuales se basa el juicio informado sobre un tema (Facione, 2007). A esta tipología de razonamiento, Facione añade el compromiso ético y la responsabilidad social como elementos reguladores de la criticidad. Para aclarar esta posición, el autor señala que en la historia de la humanidad ha habido individuos que se han destacado por poseer habilidades de

pensamiento superiores y fuertes hábitos mentales, pero que desafortunadamente han utilizado su talento epistémico para fines socialmente cuestionables. Para este académico —al igual que Paul—, el pensamiento crítico debe ser una noción que haga referencia tanto al proceder ético como moral.

En el caso iberoamericano, Guzmán y Sánchez (2008) afirman que una persona que ha desarrollado la capacidad de pensar críticamente es alguien que utiliza criterios intelectuales específicos y cambiantes para evaluar razonamientos que le permitan tomar mejores decisiones. Por su parte, Nieto y Saíz (2009) señalan que lo fundamental, para desarrollar el PC son las competencias metacognitivas y su valoración epistemológica, es decir, evaluar y reflexionar sobre lo que se piensa. Para López (2012), es un tipo de pensamiento que se caracteriza por manejar, revisar y dominar ideas, siendo su principal función clarificar lo que se entiende, se procesa y comunica. Finalmente, autores mexicanos como Díaz-Barriga (2001) y Glazman (2007) en sus trabajos invitan a encauzar el ejercicio del PC hacia la consolidación de la democracia tanto en la esfera del saber cómo en el de la gobernanza. Una visión que es ampliamente compartida en el ámbito académico.

En síntesis, se puede decir que con diferencia en algunos matices y rigor explicativo, el PC desde una perspectiva analítica es entendido como un tipo de razonamiento reflexivo que puede ser aprendido y tiene su origen en una disonancia cognitiva—la resolución de un problema, la interpretación deliberativa de una temática compleja o la toma de una decisión—, la cual implica el desarrollo e implementación de una serie de habilidades cognitivas y metodológicas que dotan de rigor al trabajo intelectual, así como la puesta en marcha de hábitos o disposiciones que sean congruentes con estas facultades. En las siguientes páginas, se centra la atención en la definición propuesta por Richard Paul y Linda Elder (2006; 2007), ya que al ser una de las más estructuradas y mencionadas en la literatura, constituye la noción adoptada del PC en esta investigación.

2.3 El pensamiento crítico en la educación

2.3.1 La noción de pensamiento crítico de Paul y Elder

Desde sus inicios, la organización en pro del pensamiento crítico—*The Critical Thinking Community*— ha explicitado su intención por mejorar y transformar la educación a todos niveles mediante el impulso del PC en las aulas. Actualmente, en

el portal electrónico de esta fundación se pueden rastrear una gran cantidad de materiales y recursos que fundamentan la importancia que tiene promover la criticidad en contextos educativos⁴.

En textos recientes de esta comunidad conformada por académicos y educadores, la noción de PC parece haber evolucionado en comparación con la ofrecida en sus primeros años, ahora es presentada de manera más precisa y concreta. En estos materiales, se define al PC como un modo de pensar sobre cualquier tema, contenido o problema, en el que el pensador mejora la calidad de su pensamiento inicial, esto al ocuparse con habilidad de las estructuras inherentes al acto de pensar y evaluarlas mediante estándares intelectuales (Paul y Elder, 2006). Así, para estos autores la clave para desencadenar una mejora del pensamiento está en reestructurarlo como producto de su análisis y evaluación efectiva. Desde esta perspectiva, un pensador crítico se distingue por mostrar 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 y 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
- Al idear soluciones a problemas complejos, se comunica efectivamente⁵.

Como se puede constatar, en esta tipología Paul y Elder incorporan en su visión del PC elementos de algunos de los autores citados con anterioridad, pero lo hacen de una forma estructurada. La definición de PC que enarbola esta fundación, se basa en una articulación sistemática que contempla tres rubros: elementos de pensamiento, estándares intelectuales y características o virtudes intelectuales. La conjunción de estos elementos hace que el PC sea un proceso auto-dirigido, auto-disciplinado y auto-regulado, pues implica desarrollar habilidades orientadas a la resolución efectiva de problemas, así como someterse a rigurosos estándares en su evaluación (Paul y Elder, 2007).

⁴ <http://www.criticalthinking.org/>

⁵ Traducción de: Paul, R. & Elder, L. 2006. *The Miniature Guide to Critical Thinking-Concepts & Tools*. The Foundation for Critical Thinking, p. 3.

Los estándares de razonamiento son vistos como criterios universales, estos deben de usarse cuando se pretende valorar la calidad del razonamiento sobre un problema o tema de interés. Así, pensar críticamente requiere dominar el uso de estos criterios. Los estándares presentes en esta definición son claridad, exactitud, relevancia, lógica, profundidad, amplitud e imparcialidad. La claridad tiene como función eliminar la ambigüedad en el pensamiento y la adopción de una posición manifiesta, la exactitud se relaciona con la construcción de un saber respaldado por evidencias, la relevancia a la pertinencia que tienen las ideas formuladas en un campo disciplinar o contexto determinado, la lógica a la coherencia en la interpretación como en la elaboración de argumentos, la profundidad a evitar la superficialidad en el proceso de razonar, la amplitud a considerar diferentes perspectivas al analizar un tema y la imparcialidad tiene el propósito fomentar la objetividad al evaluar razonamientos.

En cuanto a los elementos— figura 1—, los autores sostienen que el pensamiento cuando es temático puede basarse en ocho elementos: 1) Un propósito, objetivo o meta; 2) el intento de dar solución a una pregunta-problema o la necesidad de explicar algo; 3) el manejo de información (datos, evidencias e ideas), en el entendido de que el pensamiento es tan sensato como la información en que está basado; 4) la necesidad de realizar inferencias y emitir juicios razonados para llegar a conclusiones sólidas; 5) el reconocimiento de los supuestos o ideas implícitas que se dan por hecho en el estudio de una temática; 6) el manejo de teorías y conceptos disciplinares que se consideran clave para comprender un fenómeno o caso en estudio; 7) la identificación de las implicaciones y consecuencias del razonamiento, esto es, tomar conciencia de que el pensamiento lleva a algún lado y 8) la consideración de diferentes puntos de vista que giran alrededor del tema en cuestión.



Figura 1. Elementos presentes en el pensamiento crítico.

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

El tercer elemento que configura a esta noción del PC, es el desarrollo de una serie de cualidades disposicionales que Paul y Elder denominan como características o virtudes intelectuales, las cuales según estos autores constituyen pautas para reconocer la excelencia en el pensamiento. Estas al tener una fuerte conexión con la ética dotan de valor al proceder intelectual de las personas. Los rasgos de carácter implicados son:

- ❖ *Humildad Intelectual*. Se relaciona con la conciencia de las limitaciones de los conocimientos propios y ser sensibles ante el conocimiento de los demás en un proceso de aprendizaje colectivo. También, alude a evitar prejuicios al ejercer el pensamiento.
- ❖ *Autonomía Intelectual*. Es la cualidad que se adquiere conforme se aprende a tomar responsabilidad por la autoría del pensamiento propio, es lo opuesto a ser dependientes de otros en el desempeño intelectual, también hace referencia al control de las decisiones en la vida personal.
- ❖ *Integridad Intelectual*. Se manifiesta en la capacidad de sujetarse a sí mismos bajo los mismos estándares de evidencias y pruebas que uno espera que los demás mantengan. Paul y Elder mencionan que, por naturaleza se suele sujetar a los demás o a los oponentes intelectuales a estándares más altos que los que uno se impone a sí mismo.
- ❖ *Perseverancia intelectual*. Es la voluntad por investigar, profundizar y obtener conocimiento en un contexto adverso. En otras palabras, es la disposición de abrirse camino entre la complejidad y la frustración que puede generar el aprendizaje y el trabajo intelectual.
- ❖ *Confianza en la razón*. Es la condición a aceptar que el pensamiento basado en razones es la clave para una vida racional y un mundo más justo, su propósito es que los individuos lleguen a sus propias conclusiones gracias al desarrollo de habilidades racionales propias.

- ❖ *Empatía Intelectual.* Se refiere a la capacidad para tolerar y considerar de manera empática ideas u opiniones que difieren de las propias, en palabras llanas es ponerse en el lugar de los demás para comprenderlos, pero también para validar o reconsiderar posicionamientos.
- ❖ *Imparcialidad.* Las personas que piensan críticamente se esfuerzan por considerar con equidad los diferentes puntos de vista que son relevantes en la comprensión de un tema o en la resolución de un problema, sin tomar en cuenta sentimientos e intereses particulares o de grupo. Es mostrar un riguroso apego a los estándares intelectuales antes mencionados.
- ❖ *Entereza intelectual.* Hace alusión a actuar con honestidad y responsabilidad frente al conocimiento, es el aprecio de la objetividad, comprobabilidad y la réplica en el ejercicio intelectual, es una conducta que se opone al autoengaño y la falsedad.

Como se ha mencionado—para Paul y Elder—, el desarrollo y la puesta en marcha de las virtudes antes mencionadas constituye la evidencia real de que una persona ha mejorado la calidad de su pensamiento. Concretamente, estos autores señalan que la importancia de estas cualidades disposicionales reside en que permiten hacer frente a dos vicios cognitivos que son inherentes a la condición humana y obstaculizan el desarrollo de la criticidad, el egocentrismo y el sociocentrismo. Al primero, lo asocian con mirar al mundo en términos del beneficio propio o la gratificación individual, mientras que al sociocentrismo con la propensión de imponer y no ver más allá de la ideología de un grupo determinado. En oposición a estas deficiencias cognitivas, un pensador crítico debe abogar por la pluralidad, la justicia y la prudencia en el análisis, así como el reconocimiento de pensamientos autoelusivos con la finalidad del crecimiento intelectual.

Por lo expuesto, se puede aseverar que pensar críticamente es conducente a tener una vida más racional, benéfica y productiva. En este sentido, Paul y Elder (óp. cit.) mencionan que las personas que son críticas suelen ser congruentes con el principio socrático que dice “una vida sin examinarse no vale la pena ser vivida”, porque son conscientes que muchas vidas donde prevalece la irreflexión y el pensamiento de mala calidad da como resultado un mundo peligroso, gris, injusto y sin sentido. En la figura 2, mediante un esquema se muestra los tres elementos que articulan la noción de PC que defienden Paul y Elder.

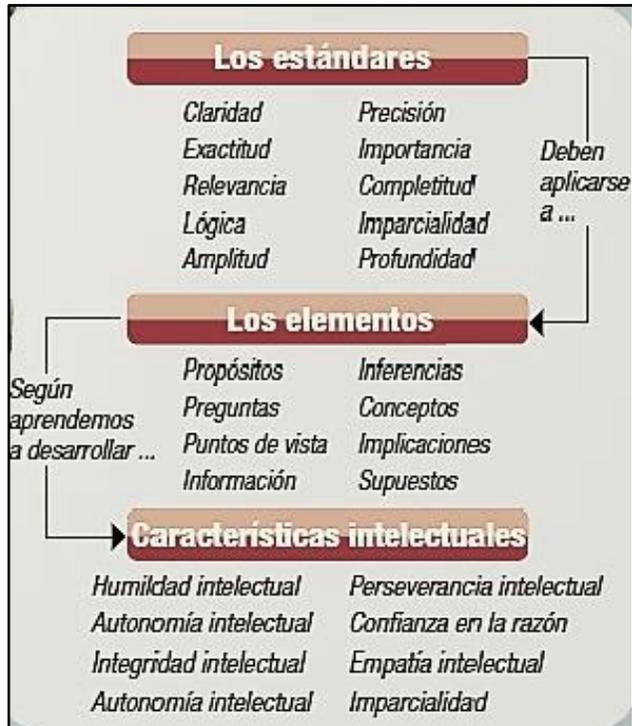


Figura 2. Síntesis gráfica de la noción de pensamiento crítico de Paul y Elder. Para estos autores, un individuo que piensa críticamente aplica habitualmente los estándares intelectuales a los ocho elementos que configuran el razonamiento para hacerlo profundo, reflexivo y auto correctivo. Esta mejoría se ve reflejada por el desarrollo y puesta en marcha de un núcleo de virtudes o disposiciones que dotan de integridad al desempeño intelectual.

2.3.2 Problemas asociados con la enseñanza del pensamiento crítico

Contribuir al desarrollo intelectual de las personas, es una meta ampliamente compartida en todos los escenarios y niveles educativos. Impulsar el desarrollo del pensamiento crítico contribuye a el logro de dicho objetivo. Pues como ha quedado de manifiesto, su adquisición fortalece la manera en que un individuo se aproxima al conocimiento, lo internaliza y lo exterioriza en su relación con los demás. Razón por la cual, en el plano de lo público y lo social, es proyectado como una aptitud que armoniza la vida en democracia (Sintisteban, 2013).

Sin embargo—como se mencionó al inicio de este capítulo—, en la literatura se reporta que el PC se promueve poco en los salones de clases. El principal motivo asociado con este problema, es el desconocimiento y la confusión que genera su conceptualización tanto en los profesores como en los gestores educativos. Ejemplo de ello, es el estudio realizado por Wright (óp.cit) en el que entrevistó a 140 docentes del Estado de California en los E.U.A. Al realizar dicha encuesta encontró que el 90% reconoció que el PC es un concepto muy importante en la educación. Pero, solamente cerca del 10 % de los consultados fue capaz de definirlo de manera clara, 8% indicó otorgarle un espacio importante en su labor docente y únicamente el 4% identificó de manera correcta algunos conceptos implicados con su desarrollo como

inferencia, argumentación y metacognición. La evidencia recopilada por este autor apunta además que, el escaso dominio de la noción de PC no es exclusivo de los docentes sino también de las autoridades educativas. Por consiguiente, es común que surjan controversias, pugnas y desacuerdos entre lo que los profesores consideran que es el PC, lo plasmado en los currículos sobre esta noción y lo que esperan las autoridades educativas al respecto.

Por su parte, Solbes y Torres (2013) confirman la tendencia reportada por Wright en profesores iberoamericanos vinculados con la enseñanza de la ciencia, quienes además de manifestar poco dominio en torno al significado del PC, señalan la necesidad de dimensionar, así como resaltar su presencia en los programas de estudio, ya que estos suelen contener aún una gran cantidad de estrategias basadas en la transmisión descontextualizada y lineal de los contenidos. En el contexto nacional, Herrera (óp.cit) menciona que los docentes se sienten incómodos y sin una formación suficiente para tomar decisiones de cómo enseñar el PC, es decir, que visión incorporara a sus clases, que estrategias emprender en su desarrollo y evaluación. Como resultado, suelen evadir las escasas invitaciones a fomentar el PC en los currículos y relegar el asunto al departamento o las clases de filosofía de las instituciones educativas.

Otra problemática descrita en la literatura, es la presunción de algunos educadores de asumir que la enseñanza del PC está basada exclusivamente en la transmisión de habilidades o competencias prácticas, minimizando o dejando de lado el análisis sobre la fiabilidad de los constructos cognitivos, el valor de la metacognición⁶, los criterios de confiabilidad y aceptabilidad en la elaboración de argumentos, etc. Una errónea acepción que ha sido aprovechada de forma malintencionada por algunos círculos editoriales, para presentar al PC como un tipo de pensamiento estratégico, eficaz, exitoso y motivacional. Todas ellas, posiciones muy cercanas al dogmatismo, desprovistas de rigor académico y muy distantes del carácter razonable que suele distinguir a la criticidad.

Un factor adicional a considerar en la enseñanza del PC es el tiempo, la mayoría de los especialistas reconocidos en el campo o que han realizado un análisis serio sobre la trascendencia educativa del PC (Paul y Elder; Ennis; Facione; Solbes y Torres; Herrera), coinciden en señalar que su desarrollo es proceso gradual que

⁶ La metacognición se define como el pensamiento sobre el pensamiento, esto es, como la evaluación autoconsciente del razonamiento y de los recursos utilizados para su autorregulación.

requiere tiempo, ya que depende de la edad, experiencia y capacidades psicoafectivas de los estudiantes, la formación de los docentes, el modelo, las intenciones, así como la filosofía educativa que enarbolan las instituciones educativas. En relación a esta cuestión, Paul y Elder (óp. cit.) han indicado que los contados casos donde se ha reportado buenos resultados en materia de PC, es porque lo han incorporado como un elemento transversal en la enseñanza de diferentes asignaturas, lo que implica trabajo a mediano y largo plazo. Un hecho que explica por qué los encargados de gestionar la educación le restaron importancia en décadas pasadas. Hasta hace unos cuantos años, la visión hegemónica que privó en la educación fue la de apoyar—casi exclusivamente— estrategias de aprendizaje que ofrecieran resultados medibles a corto plazo con el propósito de homogenizar o estandarizar los aprendizajes. Afortunadamente, esta visión parece perder rumbo ante la complejidad y pluralidad que caracteriza a la contemporaneidad.

Las reformas educativas acontecidas a nivel mundial en los últimos años, comienzan a dar señales esperanzadoras de que la enseñanza del PC se consolide en la formación de las siguientes generaciones de estudiantes. En estas, se puede observar un notorio abandono del antiguo modelo neopositivista, el cual tenía como sustento la exposición magistral de una gran cantidad de contenidos por los docentes y su acrítica internalización por parte del alumnado. Por el contrario, en los nuevos tratados educativos se está impulsando un cambio de paradigma centrado en el pensamiento, esto es, en el ejercicio de la criticidad. Como se puede observar en la figura 3, en esta óptica emergente, lo único importante no es lo conceptual sino saber establecer puentes entre el conocimiento disciplinar y el mundo real. Como resultado, los estudiantes adoptan un papel más activo, comprometido y protagónico en la construcción de aprendizajes. Dentro de esta loable perspectiva, el PC es un medio que se convierte en el “*cómo*” para obtener el “*qué*” en la educación científica.

Con el propósito de construir un marco de referencia sólido alrededor del PC, en las siguientes páginas se ofrece un análisis de la noción de Paul y Elder—el referente de esta investigación— desde la epistemología, el cual contribuya a esclarecer su conceptualización en los docentes, así como a apoyar con mayor solidez la pertinencia de su desarrollo en escenarios educativos formales e informales.

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

Figura 3. Diferencias entre la visión neopositivista de la educación y la pedagogía crítica emergente Alvarado (2014).⁷

⁷ Tabla tomada de: Alvarado, P. 2014. El desarrollo del pensamiento crítico: una necesidad en la formación de los estudiantes universitarios, *DIDAC* (nueva época), núm. 64, p. 14.

2.4 El pensamiento crítico desde una perspectiva epistémica

Al conceptualizar al PC como un proceso cognitivo que mejora la calidad del pensamiento y el comportamiento intelectual de las personas, se puede establecer un puente con un programa de investigación filosófica que ha cobrado relevancia en los últimos años, la denominada epistemología de virtudes⁸. Dicha conexión hace posible dimensionar el valor epistémico que posee el PC y, con ello, justificar su relevancia educativa.

Antes de abordar, la relación existente entre la noción de PC asumida en este estudio con la epistemología de virtudes, resulta oportuno aclarar el uso de algunos conceptos que son propios del análisis epistémico, así como contextualizar un poco acerca del origen de la vertiente epistemológica antes mencionada. El primer término en el que hay que explicar el sentido de su utilización es el de creencia, el cual difiere notablemente del uso que suele darse en el discurso popular como sinónimo de fe o devoción. En este trabajo, se hace alusión al término creencia en su acepción analítica, esto es, como un elemento del conocimiento. Una definición más precisa y que, además, es consistente con su uso epistemológico, es la que ofrece el filósofo Luis Villoro (2014), según este autor, *una creencia es un estado disposicional adquirido que causa un conjunto organizado de respuestas y que está determinado por un objeto o situación objetiva*⁹.

Villoro señala que, una creencia al ser un estado adquirido, no puede confundirse con propiedades genéticas o instintivas de un sujeto, tampoco como una ocurrencia o dato mental, sino como un estado interno cuyo objeto debió ser aprendido en algún momento por la percepción, la memoria o el entendimiento. En cuanto a la condición de “estado determinado”, se refiere a que las respuestas que ofrece un individuo están delimitadas o acotadas por la forma en que se representa al objeto, es decir, a actuar de determinadas maneras y no de otras ante sus propiedades y relaciones. De esta forma, la creencia es un término teórico que alude a un estado cognitivo interno que opera como una guía o disposición del juicio, que con la adición de otros factores—intenciones y motivaciones— demarca el comportamiento de un sujeto frente al mundo. Por lo cual, una creencia es entendida como un estado epistémico

⁸ La epistemología de virtudes es un nombre que se le da a una serie de teorías, en las que la evaluación de los logros intelectuales de un sujeto epistémico depende tanto de sus habilidades cognitivas como de sus disposiciones o hábitos frente al conocimiento (Valdés, 2011).

⁹ Villoro, L. 2014. *Creer, Saber y Conocer* (decimoséptima reimpresión), Siglo XXI, p. 71.

inicial cuyo objeto debe ser validado bajo cierta normatividad en contextos específicos, para que sea catalogada como conocimiento. Es una noción que abre la pauta a la revisión y la valoración en el proceso de construir conocimiento.

La segunda cuestión que se hace apremiante referenciar es lo que se conoce como giro del valor en epistemología, ya que en este enfoque están inscritas las diversas teorías cuyo objeto de estudio son las virtudes epistémicas. El giro del valor es un movimiento dentro del campo de la epistemología que ha cobrado importancia en el presente siglo y, se caracteriza por dimensionar de manera no tradicional los logros epistémicos. Así, en lugar de centrar su atención en la infructuosa caracterización de las relaciones existentes entre la justificación¹⁰ y el conocimiento, se enfoca en elucidar las razones que hacen valioso al desempeño intelectual.

Los autores situados dentro del giro del valor suelen cuestionar y objetar el monismo epistemológico que ha instaurado la hegemónica noción tripartita del conocimiento —creencia, verdadera y justificada—, según la cual, la creencia verdadera es el criterio epistémico fundamental. En oposición, adoptan una visión pluralista, esto quiere decir que, se acepta además de la creencia verdadera otros valores epistémicos relevantes al caracterizar el conocimiento. Lo anterior, ha hecho posible que la epistemología amplíe el horizonte de su campo de estudio, al grado de contemplar de manera seria aspectos que habían sido ignorados o desestimados por la tradición imperante, como es el caso del entendimiento (Fernández, 2011).

En la perspectiva pluralista conviven diferentes formas de analizar la validez del razonamiento, siendo una de las más fuertes el fiabilismo. Esta teoría alternativa de la justificación sostiene que, para que una creencia adquiera valor, esto es, para ser considerada como epistémicamente virtuosa debe de provenir de métodos o procedimientos fiables en su formación. Según Ernesto Sosa (1992) —pionero en el estudio de las virtudes epistémicas—, se consideran procesos fiables: percibir, razonar inductiva y deductivamente, así como la introspección o metacognición. Para este filósofo de la Universidad de Rutgers, una creencia que ha sido formada de manera fiable se le considera “apta” y, es esa condición de aptitud, lo que le confiere un estatus de conocimiento. Su valor estriba en que le otorga crédito intelectual a un sujeto, en el entendido de que lograr algo por capacidades propias es más valioso que llegar al mismo resultado por casualidad o intervención externa

¹⁰ La justificación es uno de los requisitos que debe cumplir una creencia para ser catalogada como conocimiento, su función es dar respaldo o garantía con base en razones epistémicas a una aseveración.

(Férrnandez, óp. cit.). Desde esta visión, la aptitud en el proceso de formación de creencias puede entenderse como un criterio que es propio del pensamiento reflexivo y estable (Sosa, 2007).

Otros autores, como Lorraine Code (1987), James Montmarquet (1993) y en el contexto iberoamericano Mauricio Beuchot (2012) son partidarios de abordar el estudio de las virtudes desde una perspectiva muy cercana a la ética, al definir las como rasgos de carácter o hábitos disposicionales que una persona debe adquirir y practicar para llevar una vida intelectual plena. Entre las más citadas, se encuentran la meticulosidad, la apertura de mente, la confianza en la razón, la imparcialidad, la perseverancia intelectual y la prudencia (*Prhónesis*). A ésta perspectiva, se le suele denominar en la literatura como responsabilismo (Valdés, 2011).

De manera resumida, el virtuosismo epistémico puede conceptualizarse como una serie de habilidades cognitivas y disposicionales adquiridas de manera profunda y duradera, las cuales le permiten a un sujeto conseguir un bien intelectual, entendido este como un saber veraz y contextualizado. El puente que permite asociar al PC con el virtuosismo intelectual lo constituye el entendimiento —pues se sostiene que por sus características propias guarda una fuerte relación con este proceso cognitivo—, así como la búsqueda de un comportamiento intelectual responsable. En las siguientes páginas se indaga sobre esta relación.

2.4.1 *Pensamiento crítico y entendimiento*

Jonathan Kvanvig, un filósofo representante del giro del valor señala que la historia de la epistemología puede resumirse como un diálogo constante con el escéptico. Una posición que considera no ha sido del todo atinada, puesto que el escepticismo cuando es global o demoleedor resulta una posición poco viable para la filosofía del sentido común, ya que se devela como intrascendente¹¹. Según este filósofo (2003), si la epistemología se libera de lo que denomina los grilletes escépticos puede aportar mucho en el terreno de la cognición. Una forma de hacerlo,

¹¹ Según Kvanvig y otros autores—Blasco y Grimaltos (2004)—, cuando el escepticismo es global en un proceso epistémico determinado, es decir, niega toda posibilidad de conocer. En lugar de ser un recurso crítico que incrementa el grado de certeza y justificación en torno a un objeto puede dar lugar a relativizar exacerbadamente la posibilidad de obtener conocimiento del mismo, a la pérdida de toda certeza, es decir, al sinsentido. Por eso al escepticismo global o demoleedor, le catalogan como pragmáticamente irrelevante en la filosofía del lenguaje ordinario o sentido común.

es mediante el análisis del valor epistémico del entendimiento— independientemente de que este sea relevante o no para enfrentar al escéptico—.

Para este autor, el entendimiento puede considerarse un proceso epistémico de orden superior cuando lo que está en juego es el dominio cognitivo de un objeto temático o disciplinar. Entre las características, que le confieren valor al entendimiento señala su fuerte vínculo con el coherentismo¹² y su relación subjetiva con la verdad¹³. El primero, le dota de consistencia y sistematicidad, mientras que el segundo, lo convierte en un proceso epistémico significativo en el razonamiento común o cotidiano.

Una condición para que se suscite el entendimiento, es que un individuo se forme creencias alrededor de un tema a partir de un cuerpo informativo, en el cual pueda captar de forma interna como se relacionan entre sí los distintos elementos que lo constituyen. Esto, en términos de relaciones explicativas, lógicas, probabilísticas o de otra índole que son propias de una justificación coherentista (Kvanvig, op.cit.). Un hecho que no ocurre con el conocimiento, el cual suele basarse en el análisis proposicional. Por tanto, el coherentismo resulta ser una teoría muy apropiada para justificar al entendimiento y, no así, para el conocimiento.

Consciente de los puntos débiles que numerosos trabajos han asociado al coherentismo como método de justificación¹⁴, Kvanvig señala que la categorización de la información es lo que preserva el carácter fáctico—o verdadero— del entendimiento. De modo que, si un sujeto es capaz de percibir y diferenciar en los fragmentos o compartimentos informativos aquellas creencias, ideas o contenidos que son centrales con respecto a un tema, de los preceptos que son periféricos, puede darse el caso de que, aunque haya falsedad en el sistema de relaciones se produzca cierto grado de entendimiento. Pero la falsedad únicamente puede ser admitida

¹² El coherentismo se distingue por una concepción reticular del conocimiento, en donde la justificación no es lineal sino holista o estructural. Esto apunta a que toda justificación es inferencial, es decir, depende de las relaciones de mutuo soporte que existen entre un sistema de creencias o una serie de argumentos. El coherentismo, se suele analogar con una red, esto al ejemplificar cómo unas creencias se apoyan en otras en este método de justificación creando un complejo sistema de relaciones que se reconstruye una y otra vez. En otras palabras, es como una barca que hay que ir reparando en altamar (Blasco y Grimaltos, 2004).

¹³ La verdad es un concepto complejo y difícil de definir por sus fuertes connotaciones filosóficas. No obstante, en este trabajo se toma como verdadero algo que es comprobable o verificable bajo determinadas circunstancias y que es intelectualmente compartido por una comunidad epistémica determinada.

¹⁴ Una de las principales críticas que ha recibido el coherentismo es la posibilidad de que creencias falsas puedan estar justificadas, es decir, un sistema de creencias puede ser perfectamente coherente pero ficticio o distante de la verdad.

cuando está vinculada con asuntos periféricos, ya que perturbaría ligeramente el proceso. Por el contrario, la presencia de falsedad en cuestiones que son nodales en la comprensión de un tema no puede generar entendimiento, pues una inconsistencia de tal magnitud no es permisible en un sistema coherentista.

Lo anterior, conduce a indagar sobre la facticidad del entendimiento, es decir, de su relación con la verdad. El entendimiento, al igual que el conocimiento es fáctico, es decir, debe basarse en un cúmulo o núcleo de verdades. La diferencia estriba en que para el conocimiento el veritismo es explícito o proposicional, mientras que en el entendimiento es implícito o algo que está de fondo en un recurso informativo (Ibidem). En el caso del estudio de una disciplina, el criterio de verdad se relaciona con las teorías, los conceptos y principios que les dan sustento teórico. Pues, resulta evidente que si las teorías y los conceptos implicados en el análisis de una temática disciplinar son falsos o incorrectos es imposible que se genere entendimiento.

Ahora bien, dado que la captación de los rastros de verdad en un cuerpo informativo, así como el establecimiento de las relaciones explicativas entre los diferentes compartimentos que lo constituyen dependen de las aptitudes de un sujeto epistémico en cuestión y de la calidad como la cantidad de información consultada en torno a un tema, la facticidad del entendimiento suele ser subjetiva. También es gradual, porque depende del grado de coherencia con que es articulada la información. De ahí que, resulta común la afirmación de que hay personas que entienden mejor que otras.

En resumen, el análisis anterior muestra que el valor epistémico del entendimiento radica en la captación de rastros de verdad en un cúmulo informativo, así como en la identificación de las relaciones explicativas entre los elementos que lo configuran. El dominio de esta labor exige rigor, coherencia y amplitud en el análisis de un tema, además, organiza y dota de sistematicidad al pensamiento. Dichas cualidades intelectuales resultan pragmáticamente útiles en el aprendizaje temático porque se suscita la comprensión del contenido partiendo de un elemento informativo a otro, favoreciendo con ello, la inferencia en la cognición. Asimismo, al sustentarse en una justificación tanto gradual como subjetiva de los logros epistémicos, el entendimiento se devela como un proceso intelectual oportuno en el razonamiento cotidiano.

Una vez esbozadas las características y el valor epistémico del entendimiento, en los siguientes párrafos se examinará como el PC guarda una estrecha conexión con esta finalidad intelectual, al grado de que es posible sostener que la función cognitiva más importante de la criticidad es precisamente suscitar el entendimiento profundo y reflexivo. Según Paul y Elder (2007), no puede concebirse el acto de pensar sin contenido, el cual se organiza, recrea y transforma en el pensamiento. Por tanto, para captar lo esencial de una disciplina es necesario pensar hacia el interior de la misma. Por ejemplo, para pensar en torno a la química, es necesario aprender a pensar químicamente, para desarrollar el razonamiento matemático hay que aprender a pensar matemáticamente y, así, en lo sucesivo en cada disciplina o área de conocimiento. Lo anterior, confirma que el PC guarda una estrecha relación con el entendimiento, primero porque es temático o disciplinar, segundo porque comparte su objetivo primordial, la internalización de información de manera efectiva. La tercera cuestión en la que convergen ambos procesos, es en su sistematización a través de la coherencia. Al respecto, Paul y Elder mencionan:

El contenido académico se entiende mejor como un sistema interconectado, que puede ser utilizado para recopilar datos, hacer inferencias, examinar implicaciones o puntos de vista (...) los estudiantes necesitan reconocer que existe un conjunto ordenado y predecible de relaciones que es útil para el dominio de cualquier tema o disciplina¹⁵.

Como se puede advertir, los autores invitan a usar el PC para entender, esto al impulsar el reconocimiento de las relaciones explicativas que resultan funcionales en la interpretación de un contenido o tema. Esta será lo suficientemente apta, en la medida que el tejido de relaciones esté coherentemente organizado. Conviene recordar que, el PC está articulado alrededor de ocho elementos que son inherentes a todo acto de pensar—propósito, problema o cuestionamiento a resolver, supuestos, puntos de vista, conceptos, información, inferencias e implicaciones—. Cada una de estas estructuras no son independientes, sino que funcionan una con relación de la otra, por lo que son el equivalente a los fragmentos o compartimentos que un sujeto debe articular en un cuerpo informativo para generar entendimiento—como señala Kvanvig—. En consecuencia, el PC al ser un tipo de razonamiento coherencial, también es en gran medida sistemático e inferencial.

¹⁵ Traducido de: Paul, R., & Elder, L. 2007. *A guide for educators to critical thinking competency standards: principles, performance indicators, and outcomes with a critical thinking master rubric*. Foundation Critical Thinking, p.11.

La cuarta y última similitud que puede establecerse entre la caracterización del entendimiento y la criticidad, es que en ambos procesos su facticidad no es manifiesta sino subjetiva y gradual, ya que depende de las capacidades de los individuos como de la calidad de la información consultada. Por lo expuesto hasta el momento, se puede aseverar que pensar críticamente es entender la consistencia, la validez y el significado que posee la información proveniente de un área de conocimiento. En los siguientes párrafos, se discute la importancia que posee la argumentación para dar seguimiento al entendimiento inherente a la criticidad.

2.4.2 *Argumentación y pensamiento crítico*

Una ruta para valorar el dominio cognitivo en torno a un tema es la argumentación. Según varios autores (Walton 1999; Sutton 2003; Jiménez-Aleixandre & Puig, 2012), un argumento no puede considerarse como una relación lógica entre una serie de premisas y su conclusión, sino como un acto lingüístico y contextual por medio del cual se busca persuadir, convencer o resolver un problema en una situación dialógica. Por consiguiente, el argumentar también puede conceptualizarse como una actividad humana basada en ofrecer razones fundamentadas para apoyar una idea, postura o punto de vista alrededor de un contenido o situación de interés (Janik & Toulmin, 2001).

En congruencia con lo anterior, la capacidad de argumentar implica comunicar, interactuar, valorar, refutar y decidir mediante el establecimiento de una serie de garantías previamente aceptadas entre los participantes de un proceso deliberativo. El valor de esta actividad reside en que por su naturaleza informal (no axiomática), puede dar cauce a los discursos sociales y ser un medio importante en la resolución de problemas cotidianos (Olivares, 2009). En el contexto de la enseñanza de la ciencia, se le percibe como una habilidad que promueve la explicitación de las representaciones internas que construyen los estudiantes sobre los fenómenos estudiados, el aprendizaje de la terminología científica y la comprensión de la actividad cognitiva en si misma (Ortega y Bargalló, 2015). Según Osborne (2012), promover la argumentación en la educación científica favorece el aprendizaje contextualizado de la ciencia, la identificación de diferentes formas de razonamiento, la adquisición de habilidades de comunicación y estimula el pensamiento crítico en el proceso de toma de decisiones.

Para que el PC cumpla con su función en el entorno escolar— suscitar el entendimiento disciplinar—, es de vital importancia que mantenga un fuerte vínculo con la argumentación. Una condición que demanda en el profesorado conocimiento sobre el proceso que conlleva la construcción y evaluación de argumentos. Por ejemplo, los educadores deben tener conciencia de la imposibilidad de subordinarlos o reducirlos a la axiomatización inherente de la lógica formal, es decir, a la tan recurrente demostración deductiva. En contraposición, debe predominar en la enseñanza y análisis de la argumentación, el reconocimiento de que más que apelar a la racionalidad —aunque no se contraponen a ella—, los argumentos están inscritos en lo que autores como Toulmin han denominado la dimensión razonable de la cognición (Oliveras, 2009). Esto quiere decir que, más que buscar en ellos relaciones veritistas, se debe centrar su revisión en la identificación de los criterios que les dotan de respaldo (manejo de contenidos, uso del contexto, referencia a aspectos pragmáticos y contingentes, coherencia, el *ethos* del argumentador, el *pathos* de un auditorio o interlocutor, la serie de supuestos compartidos, etc.). En esta demarcación, la habilidad de argumentar se convierte en un acto que refleja, robustece y da un sentido reflexivo al PC.

En el proceso de argumentar, los estándares evaluativos propuesto por Paul y Elder— claridad, precisión, relevancia, completitud, profundidad e imparcialidad— adquieren importancia, pues a través de su utilización es posible identificar y valorar esas garantías que debe poseer todo argumento y, con ello, establecer su fuerza y grado de pertinencia en el análisis de un tema. Ahora bien, cuando los argumentos son sometidos al escrutinio mediante escenarios de interacción social, se pueden identificar sesgos, omisiones, así como debilidades en su planteamiento, dando lugar a su reestructuración y mejoría, es decir, al arribo de posiciones críticas. Acorde con lo anterior, se deben establecer en las aulas escenarios pedagógicos que permitan a los estudiantes exponer puntos de vista, realizar cuestionamientos, lograr consensos en favor de la construcción de conclusiones más significativas y comprensibles sobre los fenómenos estudiados en las aulas. Esto redundara en crear conciencia de que la argumentación es antes que toda una actividad social (óp. cit.).

En síntesis, el PC al ser un proceso epistémico que analiza, cohesiona, pondera, reflexiona y cuestiona información temática o disciplinar, debe valerse de la argumentación porque es mediante ella como los estudiantes representan de manera explícita sus logros cognitivos. Por tal, es una vía idónea para encontrar presupuestos subyacentes en su forma de ejercer el razonamiento, para evaluar su

rigor y consistencia, para ejercitar habilidades de lectura, escritura e interpretación, para promover la metacognición, así como la acción comunicativa. Todos ellos, aspectos necesarios para incrementar la calidad del pensamiento.

Promover el desarrollo de la integridad intelectual de las personas no depende exclusivamente de aspectos cognitivos, es necesario ir más allá e indagar sobre el componente disposicional de la visión del PC adoptada en esta investigación, es decir, abrir pauta al análisis a cuestiones relacionadas con la eticidad.

2.4.3 Pensamiento crítico y responsabilidad epistémica

Paul y Elder, en su análisis sobre la importancia que posee el PC mencionan que el indicador más significativo para sostener que una persona ha cultivado la aptitud de pensar críticamente, es el desarrollo y la activación de algunos hábitos en su desempeño intelectual a los que indistintamente denominan como características o virtudes intelectuales— tales como la autonomía, honestidad, integridad y perseverancia intelectual por mencionar algunas—. Lo peculiar es que estas virtudes son reconocidas en la mayoría de los trabajos de autores que se asumen como responsabilistas dentro de la epistemología de virtudes. En dichas publicaciones, a las cualidades intelectuales mencionadas por Paul y Elder se les suele agrupar bajo una noción más amplia o general denominada como responsabilidad epistémica.

Esta noción invita a considerar como eje central de la justificación epistémica los rasgos de carácter que un sujeto muestra al llevar a cabo una tarea o actividad intelectual. Lo anterior, bajo el supuesto de que las virtudes no hacen mejor a las facultades sino a las personas (Váldez, op. cit.). Bajo este enfoque, la objetivación de una creencia es el resultado de su justificación subjetiva, en otras palabras, la valoración que se haga de ellas dependerá de las capacidades y disposiciones intelectuales que exhibe un sujeto epistémico (Code, 2011). Así, si un individuo actúa responsablemente en el proceso de formación de creencias estas tenderán a estar debidamente justificadas y viceversa.

En este contexto, la responsabilidad puede contemplarse como un medio para acentuar y reconocer la naturaleza activa de un buen conocedor. Específicamente, en el caso del entendimiento, la responsabilidad se asocia con la búsqueda, manejo y uso que se le da a la información, así como a los constructos cognitivos que se pueden formar con ella. En consecuencia, se puede afirmar que un sujeto será

epistémicamente responsable en la medida que dé cuenta tanto de sus procedimientos como de sus elecciones intelectuales.

Por lo descrito en el párrafo anterior, para clasificar a un individuo como intelectualmente virtuoso, es necesario—además de tener un proceder fiable en el plano cognitivo—que exhiba una conducta donde se manifieste su orientación hacia el mundo, hacia el propio yo que busca conocimiento y, hacia otros sujetos semejantes como parte del mundo (Code, 2011). Así, cuando virtudes intelectuales como las mostradas en la figura 4, se convierten en disposiciones estables y se atrincheran en el carácter de un sujeto, estas le confieren credibilidad intelectual, puesto que se considera que las disposiciones virtuosas que son perdurables son las que reciben mayor reconocimiento y admiración en una comunidad (Sosa, 2004).

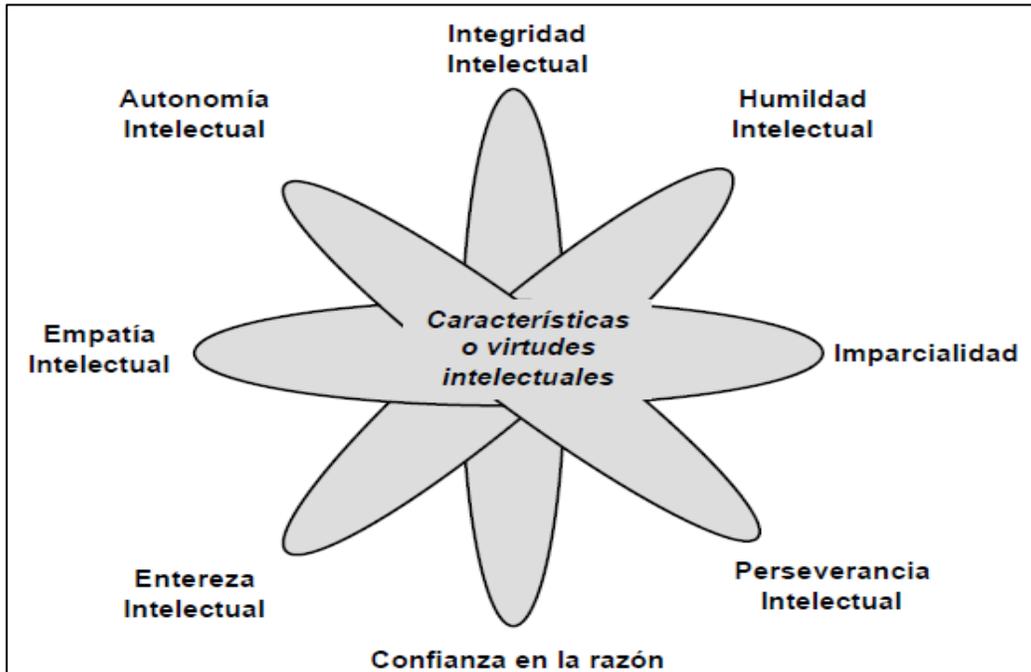


Figura 4. Las virtudes intelectuales esbozadas por Paul y Elder en la descripción del pensamiento crítico coinciden con las agrupadas por algunos filósofos bajo la noción de la responsabilidad epistémica.

Un rasgo distintivo de la noción de responsabilidad epistémica, es el marcado énfasis por hacer frente a lo que algunos autores catalogan como vicios cognitivos, los cuales tienen su origen en la tradición de vincular el éxito intelectual exclusivamente en factores internos inherentes a la cognición. Para estos especialistas, la contemplación, la extrema cautela y la pasividad producto de un saber erudito o enciclopédico deben evitarse o sustituirse por hábitos que

demarquen un papel más dinámico, autónomo y comprometido frente al conocimiento. Inclusive, señalan que el excesivo apego a virtudes del tipo aristotélicas como la sabiduría y la prudencia (o *phronésis*) puede dar lugar a una vida intelectual estática y conservadora, la cual describen como más preocupada por eludir el error cognitivo que por apostar a la creatividad, al saber social y a la exploración de nuevas posibilidades al adquirir conocimiento (Code, óp. cit.). En oposición, en la visión responsabilista, se defiende que los pensadores virtuosos deben estar guiados por el tábano socrático, esto es, por la revisión y corrección de ideas producto de su socialización, el autoconocimiento, así como la reflexión.

Lo anterior, muestra por qué las virtudes tanto morales como intelectuales tienen que ver más con formas de relacionarse con el mundo que con pretensiones específicas de conocimiento. Por ejemplo, sin la formación del hábito de la apertura de mente, la imparcialidad y la humildad intelectual, la pura meticulosidad en el dominio de un tema puede degenerar en alguna clase de dogmatismo o, por el contrario, la carencia de disposiciones como la confianza en la razón, la entereza y la perseverancia intelectual puede conducir a que los aprendizajes de una persona caigan en una excesiva dispersión y lo conduzcan a posiciones o saberes equívocos. De esto se sigue, la necesidad de que un sujeto que sea visto como epistémicamente responsable cultive virtudes que le permitan evaluar con cierto rigor sus constructos mentales, así como reconocer tanto las limitaciones como las fortalezas de su conducta intelectual (Code, *ibídem*).

En el caso concreto del PC, el énfasis en la formación de un perfil disposicional que acompañe y dé sentido a la actividad cognitiva contribuye a que el entendimiento de un tema o contenido este guiado por un proceder epistémico responsable. Una cuestión que cobra relevancia social con el concepto de permisibilidad epistémica. Esto, si se parte del hecho que la mayoría de los temas interesantes, complejos y significativos —inclusive dentro del ámbito académico— que valen la pena comprender están permeados por la interdependencia cognitiva, esto es, por la interacción con otras personas. Por consiguiente, si algo de importancia intelectual o moral está en juego y, depende del proceder de un individuo o grupo de personas, es éticamente deseable que su pensamiento no admita la falsedad, sino que esté sustentado en razones lo más apegadas a evidencias reales, así como en procedimientos epistémicos fiables y que sea exteriorizado mediante una conducta intelectual responsable. Por lo tanto, se puede aseverar que la responsabilidad epistémica es una cuestión que detenta valor público, porque no

solamente es benéfica para la persona que la posee y la práctica, sino para el grupo o comunidad a la que pertenece. De esto se sigue que, aquellas personas o comunidades que son vistas como una autoridad dentro de un campo de conocimiento, es porque se han esforzado en cumplir responsablemente con las expectativas cognitivas y éticas que les confieren integridad intelectual.

En el caso del pensamiento crítico, la noción de responsabilidad epistémica cobra sentido si se le relaciona con el ideal contemporáneo de las sociedades democráticas de transformar a su población en una ciudadanía informada y participativa¹⁶. En este escenario, se espera que las personas desarrollen la capacidad de manejar de forma autónoma y responsable un vasto flujo de información sobre temas socialmente relevantes. En el paradigma educativo y social basado en la ciudadanía, el entendimiento y los rasgos de carácter inherentes a la noción de PC asumida en este trabajo representan un saber articulado cuya finalidad es dotar de rigor y sentido al dialogo social, así como orientar los procesos de deliberación colectiva en el proceder intelectual responsable. Esto, con el objetivo de desarrollar explicaciones propias y lo suficientemente contrastadas en el seno de una comunidad que favorezcan la toma de decisiones informadas.

Finalmente, es importante señalar que existe conciencia que, al entrelazar el análisis de los logros intelectuales propios del PC con el entendimiento, la argumentación y la noción de responsabilidad epistémica, se acepta de manera implícita un alto grado de subjetividad al enmarcar las pretensiones de conocimiento, pues resulta imposible contar con reglas fijas y valoraciones definitivas al respecto. No obstante, se considera que la caracterización ofrecida es conveniente porque además de darle un rumbo alternativo y, sobre todo, colectivo al análisis epistémico, incrementa la confianza en la atribución de valor que puede darse a esta forma de ejercer el pensamiento, incluso cuando se sabe que la certeza absoluta es imposible.

¹⁶ Actualmente, la idea de ciudadanía va más allá de su conceptualización política o electoral remitiendo a la participación activa e informada de la sociedad en todos los aspectos de la vida pública y se fundamenta en un accionar colectivo que tiene como objetivo primordial la búsqueda del bien común (Martínez, 2006).

2.5 Pensamiento crítico, alfabetización y cultura científica

En este apartado, se revisan aspectos relacionados con los dos paradigmas educativos que coexisten en el proceso de enseñanza de la ciencia: la alfabetización y la cultura científica. Asimismo, se retoman elementos del análisis epistémico efectuado sobre la criticidad para mostrar cómo este tipo de pensamiento puede apoyar al cumplimiento de las metas inherentes a estos dos prismas educativos. Se centra la atención en lo respectivo a la cultura científica, ya que representa la visión más afín con los objetivos de esta investigación.

El origen del término alfabetización científica se remonta a la segunda mitad de la década de los setentas y, es una metáfora que se vincula con la importancia que tuvo el proceso alfabetizador en el siglo pasado, en el sentido actual designa un conjunto de saberes y habilidades que se consideran relevantes promover en la enseñanza de la ciencia (Shamos, 1995). Su origen, se asocia con estudios realizados en Europa y Estados Unidos donde se encontró una disminución en la legitimidad que otorgaba la población a la actividad científica, en gran medida por su fuerte nexo con la industria bélica. Vale recordar que, en la década de los setentas el mundo se encontraba ante la amenaza de la guerra fría donde la ciencia y la tecnología representaban verdaderos campos de batalla entre los dos frentes implicados.

Los gestores de política científica interpretaron que, el distanciamiento social hacia la ciencia era el resultado del poco conocimiento que las masas tenían de ella. Para cubrir este déficit cognitivo, se dieron a la tarea de implementar nuevas medidas principalmente en el ámbito de la instrucción formal, las cuales estaban encaminadas a incrementar los conocimientos sobre ciencia en la población. El núcleo general de la alfabetización científica se ha modificado considerablemente con el paso del tiempo, en un principio se conceptualizó como una tarea que involucraba la formación de tres tipos de saberes, una alfabetización práctica vinculada con el dominio conceptual de las diferentes disciplinas científicas, una alfabetización cívica relacionada con el uso social del conocimiento científico y una alfabetización cultural que contemplaba la búsqueda del conocimiento científico por simple curiosidad o placer intelectual (Shen, 1975).

Esta ambiciosa, pero fragmentada perspectiva de la alfabetización científica se fue diluyendo al inicio de la década de los años noventa, cuando lemas como “ciencia para todos”, “ciencia para la ciudadanía” y “educación científico-humanista”

cobraron fuerza en la comunidad de educadores. Desde entonces, hay un consenso en la literatura de presentar a la alfabetización como un modelo sistemático que guía al proceso de enseñanza de las ciencias. En la actualidad, el programa alfabetizador tiene por lo menos cinco objetivos formales: 1) promover el interés hacia el conocimiento científico, 2) suscitar el aprendizaje de los conceptos, teorías y leyes fundamentales de las diferentes disciplinas científicas, 3) fomentar aprendizajes significativos de la ciencia (mostrar su relevancia en el mundo real), 4) impulsar la comprensión de la dimensión racional de la ciencia, es decir, cómo se produce y valida el conocimiento científico y 5) el rechazo a creencias provenientes de áreas que malintencionadamente se hacen pasar como científicas sin serlo—la astrología o la numerología por mencionar algunas— (Miller, 2000). Más recientemente, se han incorporado a este perfil conocimientos sobre la dimensión institucional de la ciencia, financiamiento, contextos de acción, competitividad y política científica.

Hoy en día, la alfabetización científica se ha consolidado de tal manera en el campo de la educación científica escolar, que se le considera un modelo hegemónico. A pesar de ello, en los últimos años ha recibido severos cuestionamientos por algunos especialistas que la contemplan como un modelo insuficiente para dar cauce a los complejos retos que impone el contexto de la sociedad del conocimiento y la información (Pardo, 2014; Sanz y López, 2012). La crítica más fuerte que ha recibido la visión alfabetizadora, es que históricamente ha estado orientada exclusivamente a llenar un vacío conceptual sobre la ciencia en la población, una labor que ha conseguido cortos resultados por lo que su contribución al empoderamiento personal (*empowerment*) ha sido mínimo—una condición que se devalúa como crucial en el discurso ciudadano que está dando rumbo a la educación —.

En este trabajo se considera que, el gran valor de la alfabetización científica radica en que es el modelo más consolidado en el ámbito escolar para suscitar el aprendizaje conceptual de las diferentes disciplinas científicas. Dado que esta labor, es un pilar en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la ciencia resulta arriesgado pensar que el programa alfabetizador perderá vigencia. Lo cierto es, que este enfoque al estar tan cargado hacia lo cognitivo, no ha podido trascender este ámbito y mostrar, el por qué o para qué es tan valioso estar alfabetizado científicamente en la contemporaneidad. Una cuestión que ha sido mejor abordada en el campo de la comunicación de la ciencia. Ya que como se mencionó en el capítulo anterior, un rasgo propio de esta labor es presentar los contenidos científicos que aborda siempre

en referencia a un contexto, lo que posibilita impulsar el reconocimiento de su utilidad en el plano tecnológico y sociocultural.

El énfasis por la alfabetización, también tuvo su efecto en la comunidad de divulgadores y especialistas en el análisis del impacto social de la ciencia. De hecho, sus primeros estudios sobre percepción pública de la ciencia (PUS) estuvieron centrados en monitorear el déficit cognitivo o la poca familiaridad que exhibía la población hacia la actividad científica. En estos sondeos, la variable más importante era el nivel o dominio conceptual que mostraban los diferentes sectores de la población alrededor de un tema científico específico, en el entendido de que entre mayor fuera este menor serían sus resistencias o ansiedades sobre el mismo.

Sin embargo, a mediados de la década de los noventa cuando el modelo de alfabetización científica comenzaba a echar raíces en el contexto escolar, algunos expertos en el análisis de estas pruebas estadísticas comenzaron a reportar anomalías sobre esta visión lineal de asociar el nivel de conocimiento científico con la aceptabilidad social de la ciencia. Concretamente, se basaron en los resultados que se desprendían del Eurobarómetro— una serie de encuestas que se realizan a la población europea para conocer su opinión sobre temas de interés ciudadano—, para indicar que personas con un alto grado de conocimiento en ciencia y tecnología no mostraban el nivel de confianza esperado sobre los nuevos hallazgos científicos y, que la tendencia contraria también se daba con regularidad (Pardo, *óp. cit.*).

Para hacer frente a las irregularidades presentes en este tipo de estudios, los modelos explicativos comenzaron a integrar con relativo éxito variables de naturaleza cultural, como es el caso de la utilidad, el riesgo, el comportamiento ético, la confianza entre otras (*ibídem*). Este hecho tuvo un fuerte impacto entre los académicos adscritos al campo de la comunicación pública de la ciencia, sobre todo, en aquellos autores que desde entonces concebían al conocimiento científico como un patrón cultural que da rumbo a las sociedades democráticas. Como consecuencia, en los primeros años del presente siglo, un gran número de trabajos y publicaciones de esta área comenzó a sustituir el término de alfabetización científica por el de cultura científica y, a impulsar su consolidación como un nuevo ideal educativo.

Definir a la cultura científica no es una tarea fácil, pues al estar imbricada con el término cultura—una noción polisémica— puede dar lugar a una gran cantidad de interpretaciones. A pesar de ello, en la literatura se pueden clasificar su

conceptualización en dos enfoques, el que recupera esa dimensión cultural que acuñó Shen (1975) en la primera caracterización de la alfabetización científica, según la cual, el conocimiento científico tiene una connotación simbólica debido a que incide en la configuración social y genera placer intelectual. En el segundo, además de considerar lo anterior, se incorpora una dimensión política que es encauzada por una demanda de voz que pugna por el empoderamiento ciudadano y la democratización del conocimiento científico. Esta última perspectiva, es la que ha cobrado más atención en los últimos años porque es acorde con la connotación democrática que actualmente se le asocia a la educación.

Antes de examinar la definición de cultura científica, se hace prudente señalar que se entiende por cultura. Según el filósofo español José Mosterín (1993), la cultura es la información transmitida por aprendizaje social, la cual puede ser de tres tipos: representacional, práctica u operacional y valorativa. La primera es la información sobre las características y propiedades del mundo e incluye representaciones, creencias, imágenes, símbolos y conocimientos acerca de la naturaleza o la sociedad. La información operacional se refiere a las normas de conducta o comportamiento de los humanos. Finalmente, la información valorativa se vincula con la ética, pues hace alusión a que estado de las cosas es preferible, valioso o pertinente en un contexto determinado.

Tomando en cuenta la noción anterior, la cultura científica puede ser definida como una cuestión estructural de la sociedad, es decir, como un conjunto de aspectos simbólicos, valorativos, cognoscitivos y actitudinales que poseen los miembros de la sociedad sobre la función de la ciencia y la tecnología, la importancia y beneficio de su actividad, así como el manejo de sus contenidos básicos (Secyt, 2004). En este sentido, Sánchez-Mora (2014) señala que la ciencia debe ser parte de la cultura porque su construcción y comunicación obedece a procesos sociales, pero principalmente porque su desarrollo incide de manera notable en el progreso de la humanidad y en las vidas de las personas. Por otra parte, López (2004) indica que una persona es científicamente culta cuando es capaz de apropiarse del conocimiento científico de manera significativa, esto es, cuando sabe ubicarse racionalmente frente los aspectos, cuestiones o temas que le son de interés, necesarios o útiles. Este autor, es muy enfático al señalar que la genuina cultura científica debe estar fundamentada en la lealtad hacia la razón y la objetividad, dos criterios que son distintivos de la ciencia frente a otros tipos de saberes que están presentes en el espectro cultural.

Como se puede constatar, la visión y los objetivos que se asocian a la noción de cultura científica citada en el párrafo anterior reviste mucho parecido con lo esbozado en el programa de alfabetización científica. Si bien es cierto, que históricamente el discurso acerca de la dimensión cultural de la ciencia ha estado centrado más hacia lo social e institucional que a lo conceptual, difícilmente se puede trazar una distinción significativa entre estos dos enfoques. Hasta aquí, en lo único que se puede marcar una diferencia sustancial, es su contexto de origen, la alfabetización tiene sus raíces en el ámbito escolar mientras que la cultura científica se ha convertido en una máxima histórica de la comunicación pública de la ciencia. Lo anterior, abre pauta a referenciar la segunda visión de cultura científica previamente mencionada, esto es, la que incorpora y otorga gran importancia al manejo que se le da al conocimiento científico.

Sin aludir a tendencias políticas o modas educativas, Luis Estrada (2004) incorpora en su perspectiva de lo que es la cultura científica un elemento disposicional. Esto, al señalar que, la aculturación de la ciencia debe buscar además de la comprensión de ciertos contenidos que se consideran socialmente relevantes, el establecimiento de comportamientos y conductas que sean acordes con el conocimiento científico. En congruencia con esta perspectiva, Zamarrón (2006) menciona que el valor de la cultura científica reside en que posibilita a los ciudadanos ser conscientes y participativos en aquellos ámbitos en los que la ciencia tiene un efecto importante tanto en la vida social como cotidiana.

Para Zamarrón y un gran número de autores contemporáneos, la aculturación de la ciencia es una cuestión indisociable de lo que se ha denominado como participación ciudadana. En la literatura, se menciona que esta visión cobró fuerza en años recientes como resultado de la petición de voz expresada por diferentes sectores sociales interesados en ser partícipes en la discusión de cuestiones relacionadas con la aplicación del conocimiento científico (Pardo, *óp. cit.*). Por lo cual, la participación ciudadana es vista como una aplicación democrática de un principio de precaución. Dicho en otras palabras, como un elemento que contribuye a evitar la puesta en marcha de innovaciones tecnológicas cuyas consecuencias a mediano y largo plazo sean desconocidas, a velar porque los productos o servicios que guarden relación con la ciencia estén orientados hacia el beneficio común y a demandar que la investigación científica contribuya cada vez más a la construcción de un mundo más sustentable.

Otros autores dirigen más este concepto, hacia la toma de decisiones informadas, las cuales permitan satisfacer de manera exitosa cuestiones de naturaleza pragmática o utilitaria en la cotidianidad, como el consumo de productos o servicios que tienen como base al conocimiento científico y tecnológico. Lo cierto es, que este nuevo enfoque ha roto el viejo esquema unidireccional, bajo el cual, se consolidó el modelo de alfabetización científica, al grado que en tratados educativos recientes se ha desplazado el énfasis en el aprendizaje conceptual y procedimental de la ciencia por el logro de una especie de “*engagement*” (compromiso), cuya meta central es orientar la acción social responsable (OCDE, 2012).

Dicho lo anterior, ya no se trata—al menos en la educación obligatoria— de formar estudiantes para elevar exclusivamente su dominio disciplinar sobre la ciencia, pues el rigor conceptual no es garantía de un comportamiento social ético y participativo. Actualmente, se necesita que además de desarrollar cierto dominio conceptual sobre contenidos claves, los valoren y utilicen ya sea en una discusión de interés público, en la toma de decisiones, así como en la resolución de problemas cotidianos (Feuer & Shavelson, 2002). Congruentes con esta posición, los académicos españoles Noemí Sanz y José Antonio López esbozan en el siguiente párrafo las metas que deben encaminar el fomento de una cultura científica:

“[...] nuestra propuesta sobre la misión que ha de tener hoy en día la educación para la cultura científica es: la de formar ciudadanos que tengan conocimiento del papel y las dimensiones sociales de la ciencia y la tecnología, capacitándoles para actuar en su vida diaria, así como motivándolos para involucrarse en los debates sociales y políticos sobre estos temas. Todo ello requiere, en nuestra opinión, hacer de las aulas lugares de aprendizaje crítico, de protagonismos social y de participación cívica; en suma, hacer de los centros educativos, a través del encuentro entre el conocimiento y la acción, laboratorios de práctica democrática”¹⁷

Tomando en cuenta lo esbozado en la cita textual anterior, se sostiene que una educación que tenga por meta el desarrollo de una cultura científica debe estar articulada por los siguientes tres elementos, la formación de aprendizajes científicos que posibiliten una mejor comprensión del entorno del estudiante y del mundo en general, la adquisición de habilidades para manejarse exitosamente en él y el fomento de aptitudes éticas e intelectuales para participar en cuestiones relacionadas con el impacto que tiene la ciencia en la sociedad. Siendo esto último,

¹⁷ Sanz, N., y López, J. 2012. Cultura científica para la educación del siglo XXI. *Revista Iberoamericana de educación*, vol. 58, p. 57

el rasgo más distintivo de este nuevo enfoque educativo, ya que la idea ciudadanía siempre remite al ejercicio de derechos y obligaciones en democracia, por tal, la participación como una pretensión resulta imprescindible cuando se habla de cultura científica (Gordillo, 2005).

Para dar sustento a la afirmación anterior, Rafael Pardo (óp. cit.) establece una serie de analogías donde ejemplifica como el matiz cultural de una disciplina suele guardar una estrecha relación con el accionar ciudadano. Esto al señalar que, a nadie le resulta precipitado reconocer que la cultura política de un país es esencial para el buen funcionamiento de sus instituciones y la vida democrática, que la cultura económica de una región es un reflejo de los patrones de consumo, ahorro e inversión que muestra su población, que gracias al crecimiento de la cultura medioambiental existe mayor respeto hacia los hábitats naturales y a las especies animales. Por lo tanto, se comparte la idea de que la cultura científica debe ser uno de los activos sociales más preciados en el contexto actual, debido a que genera repercusiones transversales en diferentes planos de la vida personal y colectiva.

En el contexto de la enseñanza de las ciencias, desde hace poco más de una década se habla de cultura científica generalmente cuando se realizan estudios teóricos, se prueban estrategias didácticas, secuencias experimentales o se utilizan recursos novedosos en el tratamiento de contenidos que se caracterizan por tener fuertes implicaciones éticas o sociales. De ahí que, no es de extrañar que una de las vertientes educativas donde ha encontrado cobijo, eco y respaldo este paradigma sea en el consolidado enfoque CTS-A (Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente). En donde, el conocimiento para la participación se reconoce como uno de los fines más preciados de la educación científica. En este trabajo se considera que, cuando lo que está en juego en la labor docente es suscitar el aprendizaje crítico de contenidos científicos que poseen fuertes implicaciones tecnológicas y sociales—como el que guió a esta investigación—, la mejor forma de hacerlo es tomando como base el modelo o la actual visión de cultura científica.

Por lo expuesto hasta el momento resulta claro que, en el escenario educativo actual, los dos modelos antes referenciados conviven de manera implícita en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la ciencia. La alfabetización es de gran utilidad para el logro del aprendizaje conceptual de los contenidos que configuran a los currículos de las asignaturas científicas. Por su parte, la visión cultural de la ciencia está acentuada en el aprendizaje valorativo de aquellos temas que se consideran

relevantes para dar cumplimiento a cuestiones pragmáticas o ejercicios cívicos que poseen valor social en el imaginario colectivo.

El PC, al suscitar el entendimiento temático o disciplinar mediante el establecimiento de relaciones de coherencia, favorece que el aprendizaje conceptual de la ciencia sea más efectivo. Además, al tener una fuerte relación con la elaboración de argumentos, contribuye a que los estudiantes organicen, doten de rigor y consistencia a sus aprendizajes, es decir, apoya en su cometido al proceso de alfabetización científica en las aulas.

Por otra parte, un rasgo muy característico de la criticidad del pensamiento es su carácter evaluativo tanto de la información consultada en el análisis de un tema como de los aprendizajes que se desprenden de ella. Entre los elementos de peso que se suelen valorar se encuentra el contexto. Un rubro que permite, identificar los significados sociales de los contenidos disciplinares estudiado en el salón de clases con el fin de justificar su pertinencia. Cuando los estudiantes se habitúan a contextualizar lo que aprenden sobre ciencia, comienzan a desarrollar conciencia sobre el valor que tiene esta área de conocimientos en la vida más allá del aula. Este proceso reflexivo en torno al conocimiento científico es propio del paradigma de cultura científica.

No obstante, se considera que la función del PC que determina claramente su cercanía con la noción de cultura científica, es que es un tipo de pensamiento orientado a la acción. Como se señaló en secciones anteriores, su desarrollo involucra la adquisición y activación de una serie de hábitos que fortalecen y enaltecen el proceder intelectual de las personas. Por tanto, su formación resulta altamente benéfica para que la participación en torno al conocimiento científico dentro como fuera de las aulas este cimentada en la responsabilidad. Un objetivo que es ampliamente compartido en la contemporaneidad. A manera de síntesis, se puede aseverar que, promover el PC en las clases de ciencia es una condición necesaria para aculturar la ciencia en el ámbito escolar.

III. MARCO DE REFERENCIA EN LA COMUNICACIÓN DE LAS NANOESTRUCTURAS DE CARBONO

En las páginas del presente capítulo, se explicitan los referentes teórico-metodológicos que guiaron el desarrollo de este proyecto doctoral. Primeramente, se bosquejan generalidades sobre la temática disciplinar que se decidió comunicar en las clases de química del bachillerato universitario: la nanotecnología del carbono. Posteriormente, se comentan los trabajos y las estrategias pedagógicas que influyeron significativamente en la metodología que se siguió para impulsar el desarrollo del pensamiento crítico sobre el tema a través de la lectura de fuentes informales. El apartado culmina con una breve descripción de los criterios que fungieron como base en el proceso de selección de los recursos textuales utilizados en esta investigación.

3.1 Importancia del estudio de la nanotecnología del carbono en la educación química preuniversitaria

En esta sección, se ofrece de forma resumida algunos aspectos importantes a considerar alrededor de la nanotecnología del carbono —definición, relevancia disciplinar y educativa—. Una línea de investigación que ha adquirido relevancia en los últimos años y cuya comunicación resulta pertinente en la educación química a todos niveles, por el hecho de estar centrada en uno de los elementos más representativos de esta disciplina: el carbono¹.

3.1.1 Definición de nanotecnología

Las nanociencias y la nanotecnología son áreas de investigación científica de frontera, sus logros han sido tan destacados en la última década que, algunos autores conciben a este campo como un pilar de la siguiente revolución tecnológica (Takeuchi, 2009). La expresión nano es un prefijo derivado del latín nanus, que significa enano y tiene la acepción de la milmillonésima parte de una unidad. De manera concreta, un nanómetro (nm) es una medida de longitud igual una milmillonésima parte de un metro ($1/1,000,000,000$ ó 1×10^{-9} m). Para tener una idea

¹ En el anexo 2, se analiza con mayor amplitud la importancia disciplinar de la nanotecnología del carbono. Mientras en el anexo 2, se discute su pertinencia curricular en el marco de la enseñanza de la química en la ENCCH-UNAM.

más clara de lo diminuta que es la escala nanométrica, se pueden citar ejemplos: el diámetro de un cabello humano es de aproximadamente 75,000 nm, el de un glóbulo rojo es de 3,000 nm y la distancia entre dos átomos de oro en un anillo o moneda de este elemento químico es de 0.3 nm. Por el orden de magnitud que cubre esta escala, se puede decir que, estudiar el mundo nano es situarse en el escenario de acción de los átomos y las moléculas. En la figura 1, se muestran más ejemplos que facilitan la comprensión de la dimensión de la escala nanométrica.

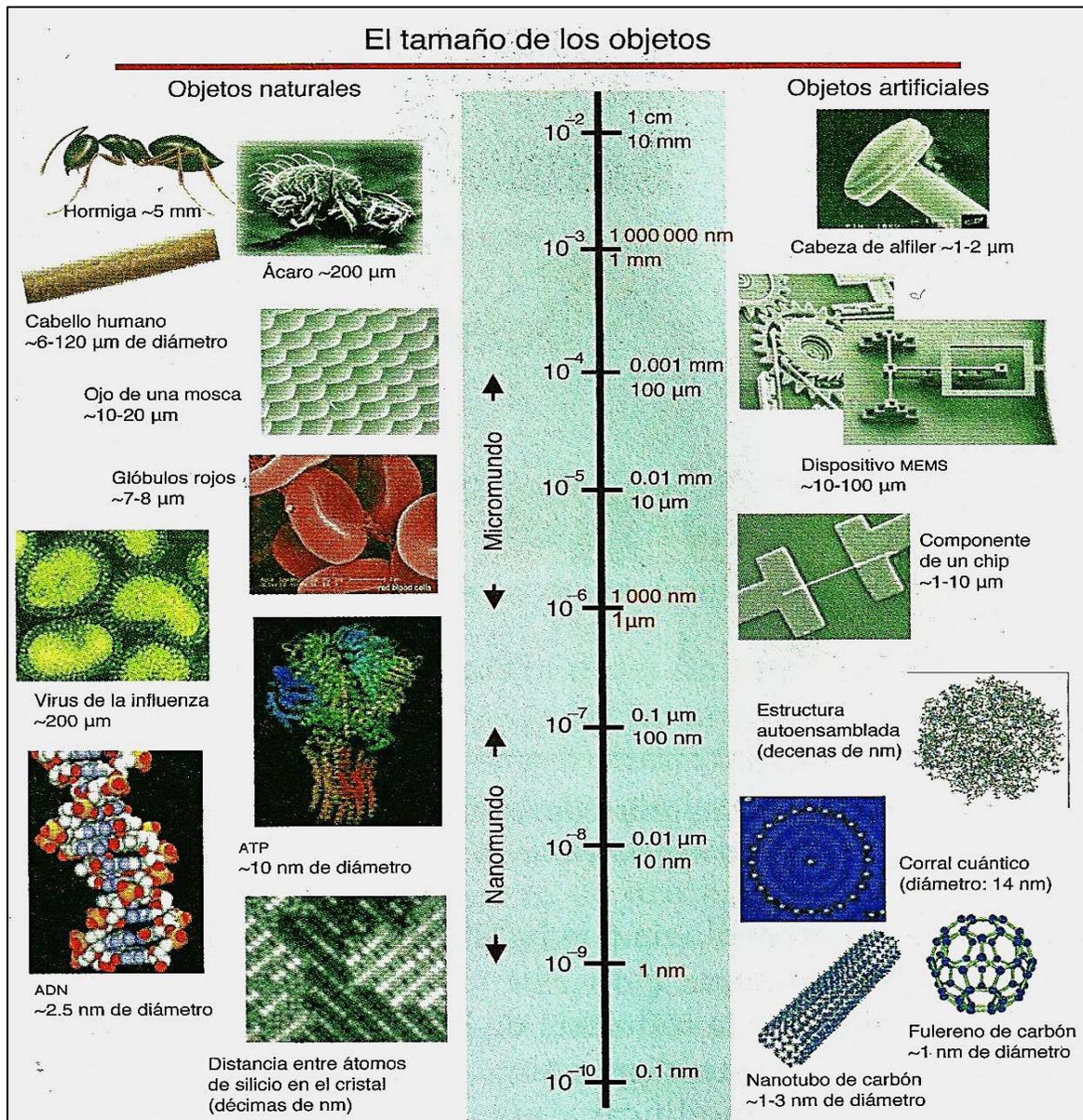


Figura 1. Ejemplos de objetos cuyos tamaños oscilan entre 1×10^{-3} m (milímetros) a 1×10^{-10} m (angstroms). Las entidades que son de interés para la nanotecnología se sitúan entre 1 y 100 nm, es decir, entre 1×10^{-9} m y 1×10^{-7} m. Imagen tomada de (Takeuchi, 2009).

La nanociencia es el estudio de los procesos que ocurren en las estructuras de un tamaño entre 1 y 100 nm, las cuales se conocen como nanoestructuras, mientras que la nanotecnología es una línea de investigación multidisciplinaria que estudia, diseña y fabrica materiales o dispositivos a escalas nanoscópicas dándoles una utilidad práctica. Sin embargo, algunos autores denominan como nanotecnología a la habilidad de controlar a la materia átomo por átomo (Takeuchi, óp. cit.).

Lo que hace peculiar e interesante al mundo de lo nano, es que en este el comportamiento de la materia es de naturaleza cuántica, lo que implica que tanto las propiedades físicas como químicas de los materiales que se construyen o deconstruyen a esta escala difieran notablemente de lo que puede ser medido o percibido con nuestros sentidos—en el apéndice 1 de esta tesis, se explica con mayor detalle esta propiedad—. La investigación en nanociencias y nanotecnología se propone comprender, dominar y aprovechar las propiedades de los átomos y las moléculas para crear materiales a la medida, los cuales coadyuvan a innovar o a optimizar productos y servicios tecnológicos ya existentes, así como contribuir a la consolidación de fuentes de energía alternativa y el cuidado del medio ambiente.

La nanotecnología es una línea de investigación donde convergen especialistas de diferentes áreas científicas, como es el caso de químicos, físicos, matemáticos, biólogos, ingenieros y médicos, pero también expertos de las ciencias sociales y las humanidades en el análisis de su gobernanza, impacto social, ético y comunicativo, tales como filósofos de la ciencia, sociólogos, economistas y comunicadores. En la actualidad, la nanotecnología es una de las líneas de investigación que recibe mayor reconocimiento y financiamiento en las sociedades industrializadas (Kleike, 2009).

Aunque falta camino por recorrer para que la investigación nano se consolide como un área científica de primer orden, es pertinente mencionar que ya existe en el mercado productos que tienen su origen en la nanotecnología, como ejemplo se pueden citar artículos deportivos, medicamentos, cosméticos, pinturas y revestimientos, electrónicos, así como innovaciones en el ramo de las tecnologías digitales. Un listado más específico de estos productos se puede consultar en el portal electrónico de la fundación *Woodrow Wilson International Center for Scholar*².

² <https://www.wilsoncenter.org/issue/nanotechnology>

Con la cada vez mayor incorporación de bienes de consumo basados en la nanotecnología, se han suscitado problemas y cuestionamiento que han dado lugar a intensos debates relacionados con aspectos éticos, medioambientales, sanitarios, laborales, económicos e inclusive legales (Delgado, 2008). Como respuesta a lo anterior, diversos organismos internacionales— como la Unión Europea— están incluyendo en su agenda científica, la puesta en marcha de programas dedicados a monitorear y regular los posibles efectos negativos asociados con la nanotecnología sobre todo en el ámbito de la salud y el medio ambiente (Krug & Wick, 2011). También, se han potenciado estudios vinculados con su gobernanza (Vessuri, 2009), establecido instancias para acercar a la población con esta temática en particular y promover códigos de conducta que regulen su discusión (Comisión Europea, 2010), así como la elaboración de algunas iniciativas para su comunicación en los niveles medio y superior del sistema escolarizado (Serena y Giraldo, 2014 y Reviglio, 2014).

3.1.2 *Relevancia disciplinar y educativa de la Nanotecnología del Carbono*

Entre los materiales que más han cautivado la atención en las nanociencias, se encuentran las nanoestructuras de carbono (NC) debido a sus inusitadas propiedades físico-químicas, así como a sus múltiples aplicaciones disciplinares y tecnológicas (Takeuchi y Basiuk, 2011). El carbono es un elemento muy abundante en la naturaleza, lo podemos encontrar en los combustibles fósiles, en las minas, disuelto en agua, en la atmosfera 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, además posee la propiedad de alotropía, 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 NC tienen su origen en el grafito, lo que 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 (CNT, del inglés *carbón nanotubes*) otra forma alotrópica, pero nanoestructurada de este elemento. Por otra parte, cuando lo que se tiene son nanomateriales de carbono cerrados tipo jaula se habla de fullerenos, una clase de moléculas que existen en el espacio interestelar. 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. Estas tres, son las nanoestructuras más representativas del campo de la nanotecnología del carbono—figura 2—.

Lo que hace relevante y atractiva a 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, algunos agregados moleculares de este elemento químico conducen la electricidad de forma eficiente, son resistentes a la tracción, elásticos y de alta dureza, mientras que otros tienen la capacidad de encapsular, adsorber y transportar átomos de otros elementos o fragmentos moleculares —como el principio activo de un medicamento—. Esto ha hecho posible, que numerosas empresas y organismos internacionales realicen fuertes inversiones económicas para que la investigación alrededor de estas nanoestructuras consiga avances en el ramo de la electrónica, las telecomunicaciones, los medicamentos, los textiles, la industria automotriz entre otros rubros que se consideran significativos para hacer de la vida algo más comfortable.

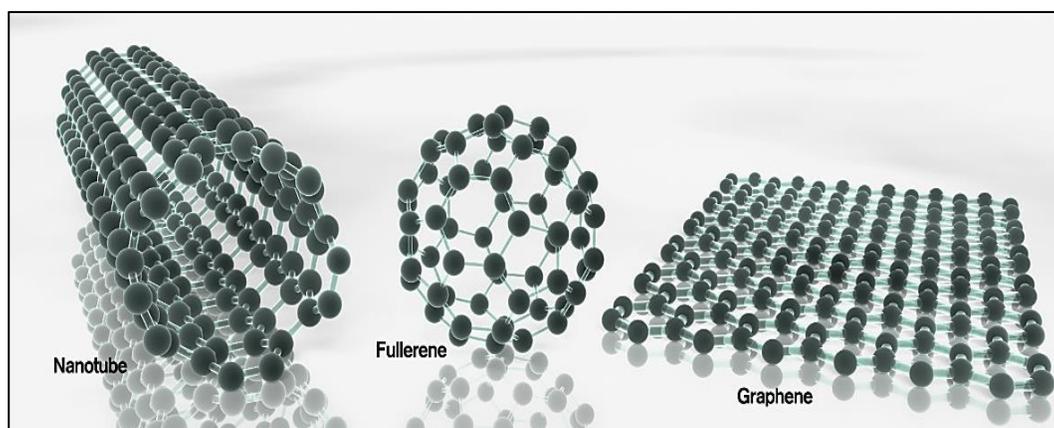


Figura 2. Representación de las tres nanoestructuras más importantes en la nanotecnología del carbono: Nanotubos, fullerenos y grafeno.

Un dato que respalda la importancia disciplinar que posee el estudio de las 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.

Históricamente, el estudio de las sustancias y los materiales que tienen como base estructural al carbono han sido un asunto casi exclusivo de la química. De hecho, existe toda una amplia rama de esta disciplina que reivindica como objeto de estudio

a este elemento, la cual se conoce como química orgánica. Sin embargo, es difícil sostener que el estudio de las NC puede situarse en esta vertiente de conocimiento químico. Debido a que, como se ha señalado, la investigación nano es de naturaleza multidisciplinaria y busca elucidar, así como aprovechar las propiedades cuánticas de los materiales. Ambos hechos distan mucho de los cánones metodológicos que han guiado el desarrollo histórico de la química orgánica.

A pesar de lo anterior, se considera que comunicar aspectos significativos sobre las NC en el contexto de la educación química es pertinente. Debido a que, representa una excelente oportunidad para mostrar a los estudiantes como la investigación en torno al carbono ha tomado nuevos senderos y directrices, ampliando con ello, su campo de acción tradicional y, como la química está contribuyendo para que los nanomateriales de carbono consigan los logros disciplinares y tecnológicos esperados. Por consiguiente, al impulsar en las aulas la comprensión del importante papel que juega la química en el campo de la nanotecnología, se contribuye a promover una visión actualizada de esta ciencia en el entorno escolar.

3.1.3 La comunicación de la nanoestructuras de carbono en la educación química

Los estudios educativos sobre nanotecnología señalan que, es necesario que los alumnos comprendan no solamente las innovaciones que ofrece esta área de investigación tanto en el plano disciplinar como tecnológico, sino también que desarrollen elementos de juicio que les permita valorar sus riesgos e implicaciones (Bonazzi, 2010). Asimismo, la comunicación del tema puede redituar en la formación de vocaciones hacia esta esfera de conocimientos, lo cual es muy conveniente pues se considera que la profesión de nanotecnólogo será cada vez más demandada en el contexto académico e industrial (Serena, 2013).

Como resultado de lo anterior, se están incluyendo en las universidades y centros de educación superior licenciaturas, ingenierías, maestrías, doctorados y diversos cursos de especialización basados en nanotecnología, así como la inserción de algunos contenidos que guardan relación con este campo en la educación obligatoria. En lo relativo a la educación informal, se están apoyando proyectos que contemplan exposiciones en museos o ferias de ciencias, libros, artículos de divulgación, la impartición de talleres y una cobertura amplia del tema en los medios de comunicación.

En las siguientes páginas, se ofrecen algunas ventajas y dificultades que plantea la comunicación de la nanotecnología en la educación científica escolar. Sobre estas últimas se menciona que:

- *Es una temática que involucra referenciar conceptos abstractos.* El estudio de la nanotecnología al sustentarse en la mecánica cuántica, así como en la comprensión de la escala nanométrica requiere una alta capacidad de abstracción por parte del receptor.
- *La naturaleza multidisciplinaria de la nanotecnología.* Todas las disciplinas científicas que convergen en este campo de conocimientos—química, física, biología, ingeniería, medicina, etc.— comparten la visión de utilizar las propiedades de los átomos y las moléculas para explicar sistemas o fenómenos que tienen relación con su objeto de estudio. Sin embargo, en ellos suele imperar una visión particular al interpretar, analizar y explicar cuestiones que les son de interés. Por tanto, referenciar en las aulas aspectos que ocurren en el nanomundo demanda de un marco teórico amplio, el cual comprenda una extensa colección de terminología científica de diferentes áreas.
- *La existencia de dos términos, nanociencia y nanotecnología, que se utilizan indistintamente.* La nanociencia es una noción que se relaciona con la generación de conocimientos básicos alrededor de un tema o nicho disciplinar, mientras la nanotecnología alude a la aplicación técnica de estos. Sin embargo, por razones mediáticas y comerciales, es el segundo término el que se ha impuesto para describir de manera global todo lo relacionado con la investigación nano. Una cuestión que debe aclararse con los estudiantes, de lo contrario se puede promover una perspectiva errónea o deformada de este campo.
- *Las ideas previas alrededor de la nanotecnología.* Producto de una visión errónea y cuestionable de esta temática por parte de comics, novelas de ciencia ficción, filmes, así como la falta de regulación a la información presentada al respecto en los canales informativos, se ha instalado en el imaginario de la población una percepción fantasiosa, apocalíptica e incorrecta de la nanotecnología. Además, se sabe que otro hecho que mina la adecuada comprensión del tema son las serias dificultades que exhiben los educandos al conceptualizar a la materia en el nivel micro y nanoscópico como es el caso de la persistente idea de continuidad, el escaso dominio de las nociones de átomo y molécula, la tendencia de asociar propiedades macro a las partículas, por mencionar algunas.

Para aminorar los errores reportados sobre las ideas previas de los estudiantes al representar a la materia, es importante que previamente en las clases de química se aborden contenidos relacionados con la modelación atómica y, que estos, se relacionen con temáticas nodales como el enlace químico y la geometría molecular. Una forma de llevar a cabo esta labor, es mediante estrategias didácticas que partan de la escala macro a la escala nano, es decir, partiendo del concepto de material o sustancia hasta llegar a la explicación del valor que tiene comprender el comportamiento de los electrones y los núcleos en la explicación del cambio químico. En esta labor, puede ser de gran ayuda esquemas ilustrativos como el de la figura 1—para ejemplificar objetos que van desde lo métrico hasta lo nano—, el uso de animaciones digitales o la representación de nanoestructuras con materiales comunes (elaboración de maquetas). Pues, se sabe que para que los estudiantes puedan superar obstáculos epistemológicos relacionados con la escala nanométrica, la visualización juega un papel trascendental (Sánchez-Mora y Tagüeña, 2011).

Otra cuestión que se debe enfatizar en la enseñanza de la nanotecnología, es que la materia a esta escala suele presentar un comportamiento insólito, el cual puede contradecir la lógica del sentido común. Para ilustrar lo anterior, se puede aludir al comportamiento de la luz al interactuar con átomos y moléculas o el cambio de coloración que presentan algunos metales en el mundo nano como el oro —anexo 1—. Cuando los alumnos han construido aprendizajes apropiados sobre estructura de la materia y su relación con el enlace químico, pueden retomarlos para interpretar fenómeno relevantes que ocurren en el nanomundo como la adsorción, el autoensamblaje molecular y la funcionalización química.

El investigador y divulgador Pedro Serena (2014) propone una serie de acciones que todo profesor o comunicador debe tener presente al abordar cuestiones relacionadas con la nanotecnología. Se describen a continuación:

- Hacer uso de un discurso analógico al referenciar contenidos de alta complejidad, así como utilizar de manera apropiada modelos al efectuar comparaciones entre el mundo macroscópico y nanoscópico.
- Tender puentes con otras disciplinas al analizar un tema específico, pues esto permitirá tener una visión más completa del mismo y crear conciencia de lo importante que es el enfoque multidisciplinar en el estudio de fenómenos que ocurren en la escala nanométrica.

- Discutir previamente los conceptos de nanociencia y nanotecnología, se debe crear conciencia en el público que para que esta línea de investigación logre los avances tecnológicos deseados, es necesario generar primeramente un núcleo de conocimientos científicos básicos.
- Referenciar situaciones positivas (beneficios) y negativas (riesgos) alrededor de contenidos que guarden relación con la nanotecnología, pues ello contribuirá a que el público receptor pueda discernir entre los alcances que ofrece la investigación científica en el campo y la ficción que envuelve al tema en espacios informativos o publicaciones de fuerte arraigo cultural.

Este autor sostiene que, si se asumen de forma seria los retos que plantea la comunicación de la nanotecnología, así como las estrategias y recursos para superarlos, entonces su difusión en las aulas puede resultar beneficiosa en el aprendizaje de la ciencia. En el caso concreto de la enseñanza de la química, al abordar cuestiones relacionadas con las NC se contribuye a que los estudiantes se formen una idea más significativa de esta disciplina. Pues, al ser una temática cuyo margen de acción es multisectorial permite referenciar en las aulas una gama de productos (electrónicos, medicamentos, artículos deportivos, piezas automotrices, textiles, etc.) cuya manufactura depende en gran medida de la química, así como algunas investigaciones que buscan aminorar el deterioro ambiental. Otra ventaja a resaltar, es que al ser un campo con fuertes implicaciones sociales y tecnológicas puede dar lugar al debate y la participación informada, objetivos que como se discutió en el capítulo anterior favorecen el fomento de una cultura científica.

En congruencia con lo anterior, algunos autores sugieren que la mejor forma de comunicar en el entorno escolar aspectos relacionados con la nanotecnología es mediante el enfoque CTS-A³—Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente— (Reviglio, 2014). En lo concerniente a lo científico, la comunicación de la NC posibilita mostrar cómo esta emergente línea de investigación está impactando el arsenal metodológico e instrumental de la denominada ciencia central. En lo respectivo a tecnología, se puede analizar desde las herramientas y los sofisticados dispositivos de los que se vale la nanotecnología del carbono hasta los productos y servicios que esta puede generar. En cuanto a lo social, es posible destacar lo

³ La perspectiva CTS-A se caracteriza por pugnar por una educación científica integral, en oposición a la fragmentación disciplinaria que impera en los currículos de ciencia, así como contribuir al desarrollo de una cultura científica que desemboque en la formación de ciudadanos responsables y comprometidos con su entorno (Aikenhead, 2010).

relacionado al amplio financiamiento que recibe esta área, lo referente a la regulación comercial e industrial de sus productos, así como lo concerniente a sus riesgos en el plano toxicológico. Finalmente, como se ha mencionado hay investigaciones que están orientando el uso de las NC en procesos que buscan disminuir la contaminación ambiental. El enfoque CTS-A desde su origen se ha distinguido por fomentar conocimientos, habilidades y actitudes que trasciendan el ámbito escolar, revelándose como útiles en la vida social o cotidiana, también por crear puentes entre la educación, la comunicación de la ciencia y el cuidado del medio del medio (Pedretti y Hewitt, 2008).

De manera resumida, se puede decir que, los avances científicos que ha generado la investigación en NC en los últimos años, así como sus implicaciones tecnológicas, económica, éticas y ambientales justifican su comunicación en el contexto de la educación química preuniversitaria. No obstante, es importante considerar que esta tarea es compleja de llevar a cabo porque requiere superar una serie de obstáculos de diferente índole. A pesar de ello, si la comunicación del tema se da con el rigor disciplinar suficiente y en el marco de una planificación pedagógica adecuada, se devela como viable para formar vocaciones científicas, incrementar el interés por la química e impulsar una cultura científica en el estudiantado.

En la siguiente sección, se discuten los trabajos que dan sustento a la metodología que se siguió para comunicar y fomentar una interpretación crítica de las NC en la educación química preuniversitaria.

3.2 Referentes metodológicos para promover el PC hacia la ciencia presente en los medios

Para generar elementos de pensamiento crítico (PC) sobre la nanotecnología del carbono mediante el análisis de textos informales, fue necesario investigar la existencia de estrategias o métodos de lectura probados que fungieran como apoyo en esta labor. Para su consideración tenían que ser consistentes con el tipo de publicaciones a utilizar, pero sobre todo, afines con la noción de PC asumida en esta investigación. Se encontró una metodología basada en la perspectiva de la criticidad de Paul y Elder (2007), la cual implica el trabajo alrededor de un instrumento denominado C.R.I.T.I.C. (Oliveras y Sanmartí, 2009; 2012; 2013). Este método fue de gran utilidad para organizar el trabajo escolar alrededor de la lectura, así como para pilotear el tipo de aprendizajes que se podía construir sobre el tema.

Una vez identificadas debilidades y fortalezas, se optó por desarrollar la estrategia de análisis textual que se propone en esta investigación en un enfoque de trabajo más amplio, el cual permitiera defender con mayor claridad el logro de posiciones críticas. Para ello, se utilizó como referente el modelo operacional propuesto por los investigadores Ruth Jarman y Billy McClune (2011), ya que cubre omisiones detectadas en el instrumento piloto y, al estar basado en el establecimiento de relaciones de coherencia para generar entendimiento reflexivo sobre la ciencia que se comunica en los medios, es congruente con la forma de conceptualizar al PC en el presente estudio.

Para reforzar el análisis contextual del tema y dar cauce a la elaboración de argumentos, se incorporó en la propuesta metodológica de esta tesis, lo que Gordillo (2003; 2005) denomina como casos simulados—la creación de situaciones ficticias para implicar a los estudiantes en el análisis de una temática científica—. En las siguientes páginas, se expone de forma más detallada los tres referentes metodológicos antes mencionados.

3.2.1 El método C.R.I.T.I.C.

Uno de los trabajos más mencionados en la literatura educativa sobre el binomio lectura- pensamiento crítico, es el que han desarrollado las investigadoras catalanas Begoña Oliveras y Neus Sanmartí. Estas autoras a partir de la definición de competencia lectora ofrecida por el proyecto PISA⁴, proponen una metodología que hace posible el análisis de cualquier tipo de texto en las aulas y laboratorios de ciencia. En ella, comparten la visión de la lectura expresada en el primer capítulo de este trabajo, al mencionar que no debe contemplarse como un proceso de acumular información sino como una actividad compleja que está condicionada por los conocimientos previos del lector y que requiere contextualizar, analizar e inferir. Por consiguiente, asumen como el logro de una postura crítica cuando la interpretación de una publicación es el resultado del consenso que se da entre el contenido de un texto, el punto de vista del autor y el sistema de creencias de un lector, es decir, es en esencia un saber negociado (Oliveras y San Martí, 2013).

⁴ La capacidad de comprender, utilizar, analizar textos escritos para alcanzar los objetivos del lector, desarrollar sus conocimientos y posibilidades de participación social (OCDE, 2007).

Como se ha señalado, su método se basa en el trabajo alrededor de un instrumento que fue elaborado tomando como base la definición del PC de Paul y Elder. El cuestionario es referenciado como C.R.I.T.I.C., el nombre alude a los diferentes rubros o apartados que involucra su resolución—*Consigna, Rol del autor, Información, Test, Ideas y Conclusiones*—. Es una adaptación de Bartz (2002) y del grupo de investigación LIEC (*Llenguatge i Ensenyament de les Ciències*) de la UAB (Prat y Márquez, 2008). Las seis categorías que componen a este instrumento, tienen como función cubrir los elementos que configuran al pensamiento temático o disciplinar según lo postulado por Paul y Elder en el capítulo anterior (óp. cit.). Por tanto, los estudiantes tienen que interrelacionar estos rubros mediante el establecimiento de relaciones explicativas para arribar a posiciones críticas. En la figura 3, se muestran las categorías, el tipo de preguntas que guían la aplicación del C.R.I.T.I.C., así como las habilidades cognitivas asociadas.

<i>¿En qué pensar al leer?</i>	<i>Ejemplos de preguntas</i>	<i>Habilidades cognitivas</i>
C Consigna, afirmación o problema que se expone en el texto, y el modelo científico relacionado	¿Qué problema se expone en el texto? ¿Cuál es la idea principal? ¿A quién puede interesar su lectura? ¿Con qué contenidos científicos puede estar relacionada?	Comprender la idea principal, seleccionar la información básica y construir una oración nueva. Reconocer situaciones de la vida dotadas de contenido científico. Pensar en términos de modelos científicos.
R Rol del autor	¿Quién ha escrito este documento? ¿Por qué lo debe haber escrito? ¿El autor sabe del tema?	Inferir. Identificar el propósito del autor.
I Ideas	¿Qué ideas o creencias llevan al autor a escribir el texto? ¿Qué ideas expone?	Inferir. Reconocer que la ciencia no está libre de ideología. Identificar el punto de vista del autor
T Test	¿Se podría hacer una prueba o experimento para comprobar la credibilidad de la afirmación principal?	Aplicar conocimientos científicos para plantear propuestas alternativas Formular una pregunta investigable científicamente. Identificar y valorar el tipo de prueba que aporta el autor.
I Información	¿Qué datos, hechos o evidencias aporta el autor para apoyar la idea principal? ¿Son coherentes?	Analizar la información aportada. Valorar la información a partir de los conocimientos propios. Argumentar a favor o en contra de las evidencias, pruebas o experimentos aportados. Juzgar la credibilidad de la fuente.
C Conclusiones	¿Las conclusiones están de acuerdo con el conocimiento científico actual que conocéis? ¿Por qué?	Confrontar las conclusiones del texto con los conocimientos científicos del lector. Extraer conclusiones basadas en pruebas. Argumentar acuerdos y desacuerdos. Comunicar conclusiones válidas. Demostrar la conexión y comprensión de hechos del mundo con fenómenos científicos Reflexionar sobre las implicaciones sociales de la ciencia.

Figura 3. Rubros, preguntas y habilidades del cuestionario CRITIC.
Tomado de Oliveras y Sanmartí (2009).

Una cuestión que hace tan factible a este método de lectura, es que al instrumento le acompaña un baremo de evaluación. Una cuestión altamente beneficiosa porque permite evaluar a través de una serie de rúbricas los aprendizajes que se generan en cada categoría que lo constituye—anexo 4—. Los indicadores de aprendizaje en esta herramienta de evaluación responden a los estándares de razonamiento propuestos por Paul y Elder (ibídem) en la valoración de la calidad del pensamiento.

A pesar de la eminente cercanía de esta propuesta metodológica con los objetivos trazados en este proyecto doctoral, se detectó durante su implementación que omite dos elementos que son cruciales en el fomento de la criticidad. El primero de ellos, es la nula referencia en el cuestionario a conocimientos relacionados con naturaleza de la ciencia⁵ (NdC), un tipo de aprendizajes que son de suma importancia para generar un entendimiento reflexivo del discurso mediático sobre ciencia y tecnología (Gadea y Vilchis, 2009). El segundo, es la ausencia de indicadores para dar seguimiento al aprendizaje actitudinal, un descuido que reduce al ámbito cognitivo los aprendizajes que se desprenden del proceso de lectura. Una cuestión que fragmenta e impide desarrollar en su totalidad la visión del PC que se defiende en esta investigación.

En este trabajo se considera que, es importante no pasar por alto o restar importancia al componente disposicional del PC, pues como se señaló en el capítulo anterior, el proceder intelectual además de ser una fuerte evidencia para identificar la mejoría del pensamiento dota de valor a las vidas de las personas. Las omisiones descritas, explican en gran medida el por qué lo realizado con el C.R.I.T.I.C., es reportado como un pilotaje o primera aproximación en la comunicación de las NC.

3.2.2 El uso de casos simulados en el proceso de análisis textual

La incorporación de los denominados casos simulados, contribuyó de forma significativa a elevar el nivel de discusión sobre el tema en los adolescentes. Los casos simulados son escenarios o situaciones ficticias utilizados para generar cuestionamientos, polémica, debate y opinión en torno a un texto científico en las

⁵ Se entiende por naturaleza de la ciencia (NdC) a un metaconocimiento sobre la ciencia que surge de las reflexiones interdisciplinarias realizadas desde la historia, la filosofía y la sociología, pero también por algunos científicos insignes (Vázquez y Acevedo, 2004). Su función es promover la reflexión sobre cómo funciona internamente la ciencia, cómo se desarrolla, qué es lo que la hace un saber confiable, su valor social, etc.

aulas (Gordillo, 2005). Es una actividad que se recuperó del grupo asturiano Argo⁶ adscrito a la OEI (Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura), el cual está conformado por profesores de nivel secundaria—el equivalente al bachillerato en México— donde destaca la obra del educador Mariano Gordillo.

Los casos simulados guardan una estrecha relación con lo que en el campo de la didáctica se conoce como juegos de rol, esto es, estrategias donde se invita a los estudiantes a tomar una decisión en la resolución de un problema complejo. El planteamiento de este tipo de casos, se recomienda en la discusión del riesgo o controversias que puede generar una línea de investigación científica en particular. Entre las ventajas que reviste su utilización, se menciona el incremento en el nivel de debate y argumentación—pues suelen generar procesos de deliberación más rigurosos—, que favorecen tanto la apertura como la pluralidad en el análisis del contexto de un tema científico y fomentan la participación en el entorno escolar (ibídem). Todos ellos, aspectos inherentes al desarrollo del PC.

En la propuesta metodológica reportada en el siguiente capítulo, se plantearon un par de casos simulados. El primero, un juego de rol para que los estudiantes identificaran con mayor claridad el alto nivel de incertidumbre que suele acompañar la investigación sobre NC. El segundo, para demarcar la temática que los alumnos debían cubrir al realizar un ensayo final sobre el tema. Un producto que permitió valorar el desempeño argumentativo en el plano individual—capítulo iv—.

3.2.3 Los cuatro elementos en el abordaje crítico de la ciencia en los medios

La estrategia de análisis textual que se propone en esta tesis doctoral, está basada en un modelo operacional elaborado por los académicos irlandeses Ruth Jarman y Billy McClune (2010; 2011), el cual tiene como propósito generar una respuesta crítica hacia la ciencia presente en los medios. Su enfoque, es el resultado de una serie de entrevistas a un panel de expertos conformado por especialistas en periodismo científico, investigadores educativos, profesores de ciencias y del área de comunicación.

⁶ <http://www.grupoargo.org/presentacion.htm>

Las ventajas de este esquema de trabajo sobre el C.R.I.T.I.C., es que ofrece más elementos en el análisis del discurso mediático sobre ciencia y tecnología. Por ejemplo, posee pautas e indicadores para abordar contenidos sobre NdC, para generar aprendizajes básicos sobre los objetivos y códigos de producción que caracterizan a las fuentes informales y cubre el rubro de actitudes. Este último aspecto, es de resaltar porque la forma de valorar el desempeño actitudinal en este método es a través del reconocimiento de buena parte de las virtudes intelectuales que presentes en la noción de PC de Paul y Elder, por lo que su análisis se puede dar bajo los preceptos del responsabilismo epistémico.

Siguiendo este modelo, para que los estudiantes se posicionen críticamente frente a un texto, es necesario que articulen de forma coherente aprendizajes provenientes de cuatro dominios: conocimientos sobre ciencia, habilidades, la ciencia en los medios y actitudes. El primero es el más amplio y tiene que ver con el manejo adecuado de terminología, conceptos, conocimientos sobre naturaleza de la ciencia, así como del contexto de aplicación de una temática científica en particular; el segundo se relaciona con destrezas de lectura, escritura e interpretación; el tercero con la comprensión de aspectos básico sobre la ciencia en los medios; mientras que el cuarto con el rubro actitudinal—figura 4—. En conjunto, este modelo representa un programa amplio, sistemático y progresivo para impulsar el desarrollo del PC en las clases de ciencias (McClune & Jarman, 2010).

A diferencia del método C.R.I.T.I.C., este modelo no cuenta con un instrumento preestablecido, el cual pueda adaptarse en la revisión de un texto específico. Pues sus autores sostienen que, las preguntas que puedan plantearse dependen de los objetivos educativos que persigue su análisis, el nivel de estudios, el tipo de estudiantes que participan en una situación comunicativa, la formación del docente, etc. Pero, coinciden con la posición de Millar y Osborne (1998) descrita en el primer capítulo de este trabajo, es decir, con la necesidad de expresar a los estudiantes metas de aprendizaje claras en torno un texto, así como evitar el planteamiento de preguntas que tengan una respuesta única y correcta. Por el contrario, recomiendan que sean abierta e induzcan a los estudiantes a argumentar con base en la búsqueda de evidencias y la consideración de diferentes puntos de vista. Al ser los docentes, los encargados de diseñar los reactivos necesarios para cubrir los cuatro rubros que involucra esta metodología, las estrategias de análisis resultantes tienen la ventaja de ser más específicas y originales.

La evaluación del aprovechamiento conseguido en cada dominio, se realiza como en el C.R.I.T.I.C. mediante rúbricas. En este caso, los indicadores de aprendizaje se agrupan en tres niveles de desempeño—básico, intermedio y avanzado—, por lo que favorecen el análisis cualitativo. Sin embargo, cuando esta valoración se complementa con los rasgos intelectuales establecido por Paul y Elder para reconocer la mejoría del pensamiento, se puede justificar la consecución de posiciones críticas—capítulo v—.

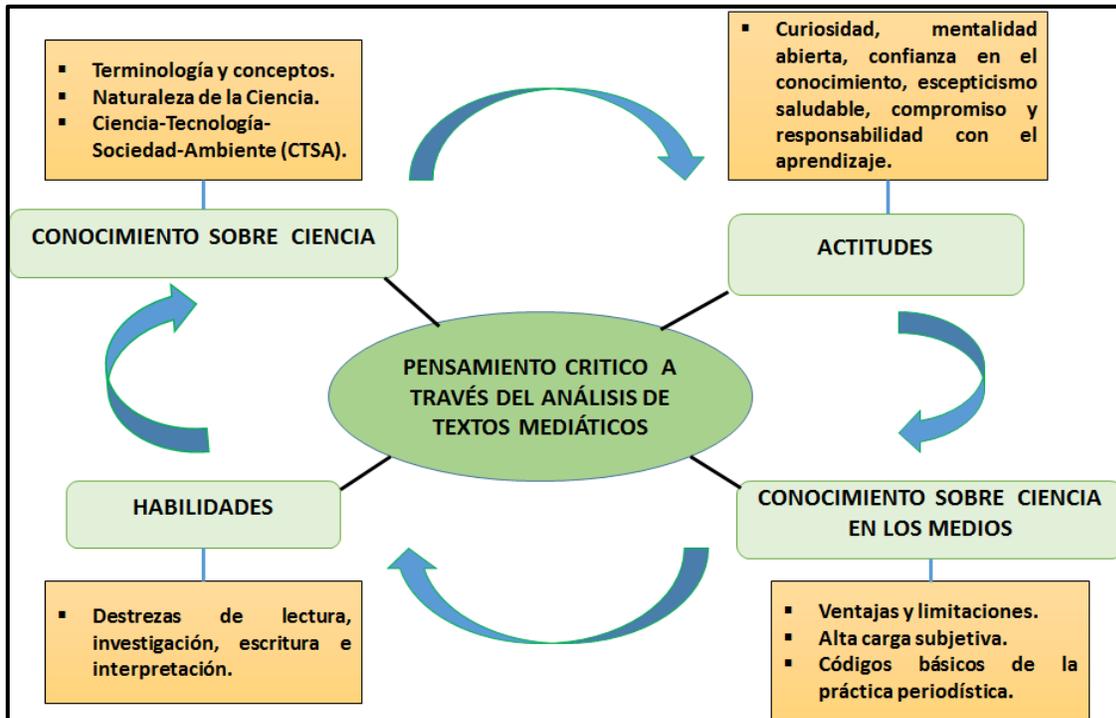


Figura 4. Esquema del modelo operacional propuesto por Jarman y McClune (2011) para generar una respuesta crítica de la ciencia presente en los medios de comunicación.

Recapitulando, el modelo operacional trazado por Jarman y McClune (2011) a pesar de orientar el análisis del desempeño escolar en una óptica cualitativa, es un referente apropiado tanto para desarrollar como para valorar la criticidad que puede emerger al incorporar textos provenientes del campo de la comunicación de la ciencia a la educación científica escolar. Esto, porque además de proporcionar un marco conceptual más completo y estructurado en el análisis de este tipo de publicaciones, en este enfoque se concibe la enseñanza del pensamiento crítico como un proceso gradual y progresivo, una característica inherente de todo proceso intelectual virtuoso. Otra razón que apoya lo conveniente de este esquema de trabajo, es esta basado en la coherencia en el análisis y permite enmarcar el

aprendizaje actitudinal en la noción de responsabilidad epistémica. En la siguiente sección, se indaga sobre el tipo de estrategias pedagógicas que deben encauzar un proceso de lectura crítica en el marco de la enseñanza de las ciencias.

3.3 ¿Cómo enseñar a pensar críticamente a través de la lectura?

Por lo expuesto hasta el momento, la mayoría de los especialistas relacionados con la enseñanza del PC coinciden en que su desarrollo requiere de saberes sólidos y bien articulados. Por consiguiente, es de vital importancia que este dirigido a la activación de un modelo teórico (una temática disciplinar específica) a partir del cual, se establezcan relaciones, se realicen inferencias y se adopte una posición basada en razones (Oliveras y Sanmartí, 2009). Sin la activación de un modelo teórico, la lectura de una publicación científica informal carece de sentido o del rigor suficiente su interpretación. En este proyecto, son la propiedades químicas y estructurales del elemento carbono las que permiten tender un puente disciplinar con el estudio de la nanotecnología.

Por su parte, en el campo de la pedagogía se reconoce que, para fomentar el PC es necesario implementar estrategias didácticas, abiertas, horizontales y flexibles que potencien el diálogo, la interacción, la participación y la reflexión tanto individual como colectiva (Díaz-Barriga, 2001). Para que los estudiantes establezcan relaciones explicativas en relación a un texto, es necesario que discutan, contrasten opiniones, validen argumentos, es decir, que asuman un papel activo en la construcción de aprendizajes.

Tomando en cuenta lo anterior, se determinó secuenciar las actividades de análisis textual en un esquema de trabajo que involucró la puesta en marcha de cuatro estrategias didácticas: el trabajo cooperativo, el diálogo, la mediación docente y el uso de las TIC's como soporte y medio de análisis de la información. En las siguientes páginas, se esboza brevemente el sentido de estas estrategias y su contribución a la labor de campo efectuada. Al referenciar cada una de ellas, se ofrece bibliografía para los interesados en ahondar más sobre el tema.

3.3.1 Trabajo cooperativo

La colaboración o enfoque cooperativo tiene ya una extensa tradición en el campo de la psicopedagogía, y puede entenderse como un conjunto de actividades que permiten la construcción activa del conocimiento mediante la socialización. Se afirma que es 'activa' porque en lugar de que se transmita el conocimiento como producto, se adquiere mediante las interacciones alumno-alumno y alumno-docente (Paulson, 1999). Lo particular de esta ruta de aprendizaje reside en ser un enfoque dinámico, basado en la organización del aula en grupos de trabajo para la realización de actividades o tareas específicas. En este escenario, los estudiantes aprenden unos de otros, así como del profesor y del entorno (Díaz-Barriga y Hernández, 2002).

Entre las ventajas que supone la cooperación, se cita que los estudiantes se hacen responsables de su propio aprendizaje, desarrollan habilidades de orden superior— analizar, inferir y juzgar—, se promueve el aprendizaje de actitudes y valores en el trabajo colectivo al brindar la oportunidad a los estudiantes de practicar conductas prosociales (como compartir, ayudar, opinar, etc.) y, finalmente, se desarrolla una disposición de apertura intelectual porque demanda considerar las perspectivas o posicionamientos de los demás integrantes del grupo (óp. cit.).

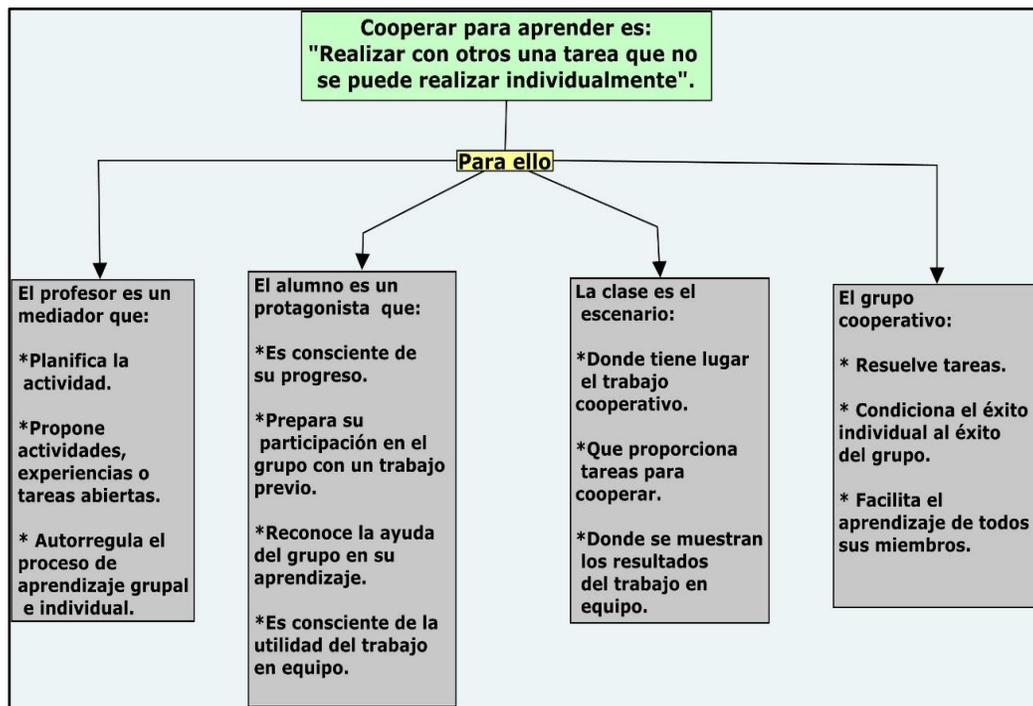


Figura 5. Funciones del trabajo cooperativo (Bernabeu y Esteban, 2011).

Los elementos que configuran al trabajo cooperativo se pueden agrupar en cinco puntos: i) la interdependencia positiva entre los miembros de un grupo; ii) la interacción simultánea entre ellos, con el objetivo de que todos alcancen los objetivos de aprendizaje trazados; iii) la responsabilidad individual de cada miembro de realizar exitosamente las tareas que se le han asignado, iv) el desarrollo de destrezas interpersonales y habilidades sociales y v) autoevaluación frecuente del funcionamiento del grupo (Vilchis, 2011). Existe todo un cuerpo teórico sobre el importante rol que juega la cooperación en el aprendizaje, algunos trabajos que se pueden consultar para ampliar la información al respecto son el libro de la pedagoga Frida Díaz Barriga (2002), el publicado por los académicos españoles Juan Carlos Torrego y Andrés Negro (2014), en lo respectivo a la enseñanza de la Química se recomienda la publicación de Vilches y Gil (2011).

En este estudio, el trabajo cooperativo estuvo orientado a la resolución de tareas y elaboración de productos en una dinámica de pequeños grupos. También, fue utilizado para regular el aprovechamiento escolar, esto al asignar tareas asequibles, en función de las capacidades previamente detectadas en cada alumno. Así en un inicio, se asignaron tareas básicas (como buscar información específica) a estudiantes caracterizados por poseer un bajo rendimiento escolar y de orden superior (como contrastar información o valorar puntos de vista) a alumnos regulares. Paulatinamente, el nivel de trabajo se fue equiparando hasta lograr cierta homogeneidad. Finalmente, otra razón que apoya la pertinencia de la cooperación en la labor metodológica emprendida, es que permite dotar a la práctica docente de los elementos de una labor investigativa permanente, ya que la planeación que demanda este enfoque pedagógico implica profundizar en temáticas disciplinares y educativas vigentes.

3.3.2 Docencia dialógica

A pesar de que la teoría constructivista se ha consolidado en el ámbito educativo, en la práctica real aún es recurrente el uso de métodos de enseñanza propios de una visión positivista de la ciencia. En estos, el diálogo y la interacción suelen estar ausentes en el salón de clases. En contraposición, desde la segunda mitad del siglo XX prestigiados educadores han cuestionado severamente esta visión sesgada de la enseñanza y han reivindicado al diálogo como un camino plausible para implicar de manera más protagónica a los estudiantes con el aprendizaje.

Entre los más notables se encuentra el filósofo y profesor de química Gaston Bachelard (1884-1962). Para este intelectual francés, la simple narrativa de los contenidos científicos en las aulas no es garantía para propiciar su aprendizaje, pues la explicación por sí misma —por elocuente y rigurosa que esta sea— induce mayoritariamente la memorización, la cual es insuficiente para que se genere el pensamiento. Bachelard (2000) defiende que, para educar es necesario dialogar, porque esta actividad le da un rumbo y estructura al ejercicio de la cognición, además de que dota de sentido humano a la labor educativa.

Otro icónico educador afín a lo postulado por Bachelard fue el brasileño Paulo Freire (1921-1997), quién acuñó toda una teoría de la acción dialógica. En esta se defiende que el diálogo forma parte de la naturaleza humana, por tal, debe ser un recurso primordial en la labor docente (Freire, 2005). Para Freire, el pensamiento es un acto pragmático e introspectivo que necesita de la reflexión, la disciplina, la recreación y el diálogo. Un tercer referente es el filósofo Edgar Morín (2006), quién conceptualiza al diálogo como un medio para la construcción del pensamiento complejo⁷, porque en él opera una relación de oponer, distinguir, complementar y relacionar ideas. En la literatura, se pueden rastrear una cantidad numerosa de trabajos que indagan sobre el valor del diálogo en la educación, así como en el desarrollo del PC, la mayoría de ellos coinciden en lo general con lo postulado por Bachelard y Freire. Se recomienda revisar el libro del académico José Ascencio (2004) y la compilación realizada por la investigadora Adriana Aubert (2004).

En resumen, se puede decir que la acción dialógica en el aula tiene como objetivo potenciar una educación participativa basada en la deliberación colectiva, la argumentación y el desarrollo de habilidades sociales. Entre sus proezas se puede mencionar que, favorece una enseñanza más democrática porque posibilita que todos los participantes en el proceso dialógico tengan las mismas oportunidades de construir conocimientos. En el ámbito cognitivo permite una confrontación de diferentes marcos de referencia, lo que abre pauta a la ratificación y/o rectificación de ideas. Además, implica tanto al educador como al educando en el proceso de aprendizaje, esto si se asume que toda persona es capaz de agenciar cambios en sus estructuras mentales y actitudinales cuando interacciona con otras, facultando con ello, que se construya en las clases de ciencia la reflexión crítica. El diálogo es en

⁷ El pensamiento complejo se refiere a un tipo de pensamiento reflexivo que un individuo pone en marcha para interconectar diversas dimensiones de lo real, es decir, permite la comprensión del mundo como una entidad holística donde todo se encuentra entrelazado y no existen certezas sino ciertos niveles de razón.

esencia un intento de encontrar entre interlocutores divergentes algo en común, es decir, algo creativo e inexistente en el momento de partida, de los cuales pueda construirse acuerdos y acciones específicas (Ibarra, 2013).

En lo respectivo a la labor realizada en este estudio, el diálogo resultó una herramienta pedagógica sustancial para que los adolescentes discutieran e intercambiaran ideas, conocimientos y perspectivas en torno al tema. Si bien, como se ha indicado en el subapartado anterior, los jóvenes tenían tareas específicas que cumplir en el proceso de análisis textual, fue mediante escenarios de diálogo como se solicitó dieran a conocer a los demás integrantes de su equipo lo conseguido en el plano individual. Esto permitió, que todos los integrantes estuvieran al tanto de los elementos a cubrir al analizar las publicaciones trabajadas en clase y, que participaran activamente, en la elaboración de respuestas consensadas en los productos solicitados.

Un segundo aspecto metodológico a resaltar sobre el trabajo dialógico, es que permite dar cumplimiento a lo que se denomina como educación en valores, ya que para que el diálogo sea fructífero y fomente la reflexión en las clases de ciencia, es necesario que sea practicado en un ambiente donde prive el respeto, la tolerancia, la apertura y la empatía intelectual. De esto se sigue la necesidad, de una participación comprometida del docente en lo que respecta a la supervisión del trabajo escolar.

3.3.3 Mediación docente y autorregulación del aprendizaje

Si lo que se pretende con una docencia dialógica y colaborativa es que los estudiantes se involucren de manera activa en la construcción de aprendizajes, entonces resulta crucial indagar sobre cuál debe ser el rol del docente en esta metodología. En la teoría pedagógica, se menciona a la autorregulación del aprendizaje como una ruta idónea en el impulso de la metacognición. Un proceso de enseñanza autorregulado, se puede definir como un curso de acción donde las actividades de enseñanza, aprendizaje y su evaluación están intrínsecamente relacionadas con el logro de un propósito educativo específico (De la Fuente, 2003).

Considerando la definición anterior, la autorregulación exige al docente que comunique metas de aprendizaje claras y alcanzables, que plantee metodologías factibles con estos propósitos, que reconozca aciertos y errores durante el trabajo en clase. En otras palabras, la autorregulación del aprendizaje puede entenderse

también, como una serie de acciones que efectúa un profesor para mediar y dar solución a los problemas más comunes e inmediatos que pueden presentarse durante la aplicación de una estrategia o secuencia didáctica, los cuales pueden ser cognitivos, metodológicos y actitudinales. Para los interesados de profundizar más al respecto, se aconseja consultar las publicaciones de Escobar (2011) y Gaeta (2012).

Las acciones de mediación emprendidas para autorregular el aprendizaje durante la comunicación de las NC, se presentan en los cuatro rubros que según Escobar (óp.cit.) cubre esta estrategia docente: intencionalidad, significado, trascendencia y reciprocidad.

- **Intencionalidad.** Este elemento hace referencia a tener objetivos de aprendizaje claros y generar conciencia de estos en el estudiantado. El docente debe contar con un marco de análisis previo de los propósitos específicos que busca cubrir al mediar el aprendizaje e interactuar con los estudiantes.

En el caso de este estudio, se emprendieron acciones para contextualizar el trabajo metodológico que llevaron a cabo los estudiantes. También, se efectuaron algunas acciones para minimizar distractores durante el análisis de los materiales de lectura. Por ejemplo, se supervisó que los estudiantes evitaran la consulta de información cuya relación con el tema fuera débil o careciera de un respaldo editorial serio, se invitó a los estudiantes a evitar la ambigüedad al elaborar los productos solicitados en cada sesión, a respetar al máximo los tiempos establecidos para cada actividad y se regularon algunos debates en el interior de las agrupaciones para corregir errores conceptuales.

- **Significado.** La mediación basada en el análisis del significado tiene que ver con emprender acciones que ayuden a los alumnos a reconocer la semántica que gira alrededor de un tema. En el caso del análisis de la información científica que circula en los medios, es necesario que el docente apoye a los estudiantes en la distinción entre la objetividad asociada con la dimensión disciplinar que reviste un tema de la subjetividad inherente al análisis de su contexto, esto con la finalidad de que los alumnos sean capaces de ponderar y articular ambos aspectos al construir su interpretación.

Una labor muy importante durante la mediación docente fue ayudar a los estudiantes a encontrar la conexión entre lo leído sobre las NC en los medios y la

química estudiada en el salón de clases. En lo referente al contexto, se monitoreo que los estudiantes reconocieran que la nanotecnología del carbono es una línea de investigación abierta y en consolidación para favorecer el entendimiento de su alta carga de incertidumbre.

- **Trascendencia.** Se relaciona con promover la toma de conciencia sobre lo relevante que puede ser lo aprendido en contextos ajenos al ámbito escolar. En el caso de este trabajo, se puso énfasis en que los estudiantes comprendieran las implicaciones tecnológicas y sociales de la NC, las ventajas que representa interpretar críticamente la ciencia presente en los medios de comunicación, así como el valor que tiene el pensamiento crítico en la vida intelectual.

- **Reciprocidad.** Esta cualidad alude a la actitud del profesor hacia sus alumnos, es decir, a la creación de las condiciones necesarias y adecuadas para suscitar el aprendizaje. Al respecto, se procuró que los adolescentes no se formaran una idea errónea de las actividades planteadas, es decir, que no vieran el proceso de decodificación textual como algo rígido o algorítmico sino como una ruta abierta, flexible y alternativa para adquirir nuevos conocimientos sobre la química del carbono. También, se procuró mantener un clima de trabajo permeado por el respeto, el compromiso y la responsabilidad.

Finalmente, un hecho que es importante tener en cuenta cuando se sigue un método de lectura crítica, es que los estudiantes no suelen estar habituados tanto a participar como a argumentar en las clases de química—y de ciencia en general—. Por consiguiente, es importante que se admita y tolere en el salón de clases el error, la duda y la disonancia cognitiva. Esta concesión permite al docente identificar aciertos, errores y establecer pautas para su corrección. Además, contribuye a que los alumnos sean más introspectivos con la calidad de su aprendizaje. A manera síntesis, se puede afirmar que la autorregulación del aprendizaje es una estrategia clave para transformar un grupo de alumnos en un grupo eficiente de trabajo.

3.3.4 El uso de las TIC's como soporte didáctico

Según cifras de la OCDE (2012), alrededor del 70 % de los estudiantes de los países que componen a esta organización utilizan con regularidad el internet para fines educativos, ya sea en lo que concierne a la búsqueda de información o como parte de una educación autónoma e individualizada. Estos datos entre otros factores

permiten comprender el por qué en los últimos años se ha consolidado, la incorporación de las denominadas tecnologías de la información y la comunicación (TIC's) en la enseñanza. Entre los beneficios que asocian con el uso de las TIC's, se puede mencionar la eficiencia en lo que respecta al acceso a una gran cantidad información, la rapidez para transferir datos, la posibilidad de usar diferentes formatos como apoyo en el aprendizaje —hipertextos y recursos multimedia—, la interactividad y la democratización del conocimiento. Como bibliografía complementaria sobre este obligado tema, se propone consultar el trabajo del químico Vicente Talanquer (2009) y del académico Julio Cabero (2015).



Figura 6. El uso de recursos digitales motiva el trabajo escolar y optimiza el proceso de análisis textual.

En lo concerniente a la lectura, se sabe que los estudiantes hoy en día están más habituados a leer en formatos digitales que en los medios tradicionales (Zayas, 2010). Gracias a ello, hoy se lee más que en décadas anteriores. El uso de las TIC's ha hecho posible agilizar el proceso de lectura, acceder a textos de cualquier parte del mundo, de distintos géneros y procedencia editorial. Sin embargo, como se ha indicado en el primer capítulo, aunque la lectura digital es un proceso más dinámico, se devela como más complejo. Debido a que, es necesario aprender a valorar y discriminar una gran cantidad de información, a utilizarla de manera responsable, así como adquirir las destrezas que demanda el trabajo digital. Por consiguiente, para que el uso de las TIC's sea exitoso en el ámbito escolar, es necesario que su empleo sea acompañado de estrategias metodológicas que fomenten el análisis crítico, como la que se propone en esta investigación.

En este estudio, el uso de las TIC's fungieron como un soporte para agilizar el proceso de lectura y como un medio para optimizar tanto la búsqueda como el análisis de información en torno al tema. Una labor donde la mediación docente resultó crucial, ya que son múltiples los factores que pueden desvirtuar el accionar

de los estudiantes en los soportes digitales. No obstante, se comparte plenamente la idea expresada por el filósofo Daniel Cassany (2010), según la cual, si la escuela tiene como objetivo preparar a los jóvenes para el futuro, entonces debe otorgar mayor importancia al trabajo con herramientas digitales, sin que esto signifique el abandono de fuentes y recursos tradicionales.

3.4 Criterios establecidos en la selección de los materiales de lectura en la comunicación de las NC

Para elegir los textos más apropiados en el tratamiento de las NC, se consultaron portales electrónicos sobre divulgación de la ciencia y páginas de agencias periodísticas de relevancia nacional. Asimismo, se establecieron criterios generales y específicos que fungieran como una guía en el proceso de selección, los cuales se describen a continuación.

3.4.1 Criterios generales

Debido a la importancia que tiene el uso de las TIC's en la educación, desde un principio se pensó utilizar como cimiento de la labor de campo el trabajo digital. Razón por la cual, el primer requisito que debían cumplir los materiales de lectura era que estuvieran disponibles en este formato y que se pudiera acceder a ellos fácilmente. El segundo, es que debían pertenecer a editoriales prestigiosas o cuando menos reconocidas con el propósito de salvaguardar la calidad de la información. El tercero es que fueran escritos en español, pues se sabe que el dominio del idioma inglés (u otro) es muy limitado en todos los niveles del sistema de educación pública nacional. Emplear textos en un idioma ajeno al español convertiría al lenguaje en un obstáculo epistemológico, el cual trastocaría considerablemente su interpretación.

La cuarta condición tiene que ver con las temáticas por cubrir. Según Gemma Lluch (2010), los temas dirigidos a estudiantes de bachillerato deben ser los mismos que interesan a los adultos. Pero, recomienda adaptar su análisis tomando en consideración las expectativas de los alumnos, así como el contexto y la intencionalidad educativa. Por su parte, Halkia y Mantzouridis (2005) ofrecen una gama de temas que suelen atraer la atención de los adolescentes cuando leen algo sobre ciencia. Destacan aspectos relacionados con la inteligencia artificial, desarrollos computacionales, la sexualidad, hallazgos que generan controversias o riesgos —colisiones estelares, nuevas enfermedades y problemas ambientales—.

Tomando como base lo reportado en estos trabajos y, lo señalado por Ratcliffe y Harris (2004) en capítulos anteriores sobre la necesidad de utilizar esta clase de textos para comunicar aplicaciones científicas de alta relevancia social. Se decidió que, los textos a seleccionar mostraran la conexión existente entre la nanotecnología del carbono con tres cuestiones específicas: tecnología, salud y cuidado del medio ambiente. Asuntos que cubre esta línea de investigación en particular, son de interés público y suelen captar la atención no solamente de los estudiantes de bachillerato sino del público en general.

Finalmente, se estableció una restricción adicional, las publicaciones tenían que ser recientes, esto es, tener cuando mucho dos años de antigüedad. La razón que justifica lo anterior, se debe a que las NC están inscritas en un campo de conocimientos de frontera e innovación. Hecho que obliga a comunicar a los estudiantes información actualizada sobre el tema.

3.4.2 Criterios específicos

Para llevar a cabo una selección más refinada de los materiales de lectura. Primeramente, se delimitaron aquellos aspectos que debe cubrir una publicación digital para que su revisión sea ágil y adecuada. Posteriormente, se establecieron algunas pautas en el análisis de contenido.

Los parámetros de lectura digital se delimitaron tomando como referencia las recomendaciones citadas por Zayas (óp. cit.) y los criterios establecidos por Codina (2000). Cabe señalar que, de este último trabajo se tomaron y adaptaron únicamente algunos elementos que se asumieron como relevantes en el trabajo metodológico por emprender. A continuación, se describen brevemente.

- i. **Autoría.** En los textos debe identificarse claramente la autoría intelectual, ya sea a nivel individual y/o editorial. Este rubro es de gran importancia, porque permite tener una primera aproximación sobre la calidad y confiabilidad de las fuentes, esto en función del historial, reputación del autor o el medio que respalda la información.
- ii. **Volumen de Información.** Se refiere si el sitio web contiene una cantidad de información suficiente en relación con el tema abordado, los objetivos de la lectura y el público al que va dirigido el recurso.

- iii. **Recursos Multimedia.** Indica si en el texto existe la presencia de recursos audiovisuales que sean consistentes con la información textual (videos, animaciones o audio) y que favorezcan la comprensión de los contenidos presentados.
- iv. **Acceso a la información.** Este parámetro cubre dos aspectos. El primero se refiere a la fácil ubicación del recurso en la web, ya sea por medio del uso de navegadores o la presencia de un enlace que conduzca eficazmente al recurso en un entorno o plataforma virtual. El segundo tiene que ver con la calidad del sitio web, es decir, si la totalidad de la información se despliega con rapidez y, si este permite hacer una doble revisión del texto: secuencial y no lineal.
- v. **Claridad y Legibilidad.** La claridad se vincula con si existe un contraste adecuado entre texto, imágenes, recursos y el fondo. Mientras que la legibilidad, se relaciona con el diseño textual—tamaño, tipo y color de letra, organización de párrafos, interlineado y márgenes apropiados, etc.—. Ambos aspectos, son de gran importancia para amenizar el proceso de lectura.
- vi. **Presencia de enlaces a recursos externos.** Se refiere a la posibilidad de vincular el texto con recursos externos al sitio web que lo contiene con la finalidad de complementar la información presentada. Estos recursos externos deben ser de calidad e incrementar la comprensión de la publicación en cuestión.

En lo relativo al análisis de contenido, los parámetros a considerar se adaptaron de los trabajos publicados por Lluch (óp.cit.) y Alcibar (2004). En ellos, están implícitas buena parte de las características que un texto de naturaleza informal debe cubrir para suscitar la comprensión y el interés de los contenidos que presenta, las cuales fueron esbozadas en el primer capítulo de este trabajo.

- vii. **Temas.** Es importante que además de abordar asuntos de interés sociocultural, los textos posibiliten la activación de conceptos y teorías disciplinares (conocimientos previos). Asimismo, que hagan alusión al contexto que envuelve a un tema—enfoque CTS-A— (Alcibar, 2004).
- viii. **Rigor.** Se refiere a la veracidad y objetividad en el tratamiento de los contenidos científicos presentes en una publicación, así como la precaución del autor o editorial de ofrecer evidencia empírica respaldada por la comunidad científica. Resulta clave que, los conceptos, teorías, datos o hechos científicos además de ser correctos, se traten con la profundidad necesaria para que sean comprendidos por un ciudadano común (Lluch, óp. cit.). En este rubro, no se deben contemplar las opiniones o

valoraciones que el autor vierta sobre un tema, ya que estas forman parte de la retórica del texto.

- ix. **Narrativa.** Es necesario que, la información que ofrece un recurso textual esté redactada de forma clara y precisa, pues ello posibilitara una lectura amena y ágil de sus contenidos. Los especialistas recomiendan que en los textos se haga uso de recursos literarios como las analogías y las metáforas, porque son figuras discursivas que tienen la propiedad de conectar el mundo de la ciencia con el mundo cotidiano o real (Alcíbar, óp. cit.).

- x. **Tendencia a resaltar las aplicaciones tecnológicas y sociales de la ciencia.** Es un rasgo distintivo en publicaciones informativas y, se debe a la asunción de que resaltar las aplicaciones tecnológicas o sociales provenientes de la ciencia es una forma de incrementar el interés por esta actividad. Es innegable que, las implicaciones éticas, económicas, culturales e inclusive políticas inherentes al conocimiento científico gozan de alto valor público (ibídem).

- xi. **Presencia de recursos visuales.** La comunicación escrita de la ciencia utiliza fotografías, dibujos, infografías, gráficos con fines didácticos o explicativos, pero también hace uso de estos recursos para producir emotividad en los lectores. Los recursos visuales representan un vehículo para proporcionar espectáculo al lector y, con ello, captar su atención (Lluch, óp. cit.). Es importante que estos recursos sean un complemento coherente de la información y no susciten confusión en los lectores.

- xii. **Uso del discurso diferido.** La utilización del discurso diferido o citación puede considerarse como un mecanismo que otorga valor probatorio al discurso divulgativo (Alcíbar, óp. cit.). Hecho que le confiere una connotación retórica, pues, dota a la narración de cierta dosis de objetividad y simultáneamente neutraliza la opinión del autor de un texto, creando con ello, un efecto de veracidad y proporción con respecto a lo que se relata.

- xiii. **Modalización.** Este aspecto se refiere a la presencia de valoraciones, opiniones o apreciaciones del autor sobre los contenidos que transmite. La modalización es un elemento ausente en el discurso científico, pero muy común en el discurso divulgativo y cotidiano. Al igual que el parámetro anterior, cumple una función retórica, esto es, busca persuadir al lector sobre la relevancia de un tema en estudio—no manipularlo o enajenarlo—. Por tanto, es deseable que en los textos se proponga diferentes miradas, enfoques o soluciones sobre lo que se aborda (ibídem).

IV. PROPUESTA METODOLÓGICA

En este apartado, se muestra la labor metodológica que se siguió para dar cumplimiento al objetivo central de este trabajo doctoral, el desarrollo de elementos de pensamiento crítico (PC) sobre la nanotecnología del carbono mediante el análisis de recursos textuales procedentes de la comunicación pública de la ciencia. El capítulo comienza con un breve recuento de las etapas clave de este estudio, esto con el propósito de dar cuenta de cómo fueron articulados buena parte de los antecedentes discutidos con anterioridad. Posteriormente, se describe el proceso de selección de los materiales de lectura que permitieron dar tratamiento al tema en las clases de química del bachillerato universitario. Por su parte, en la tercera sección son presentados los datos que caracterizan a la muestra de estudiantes encuestados. Finalmente, se pormenoriza la secuencia de actividades que involucró la implementación de la estrategia de análisis textual propuesta en esta tesis.

4.1 Semblanza metodológica

La metodología de esta investigación comprendió seis etapas, las cuales se describen de forma breve a continuación.

1. *Establecimiento de un marco teórico en torno al pensamiento crítico (PC).* Debido a la problemática descrita en el segundo capítulo, sobre la poca claridad que impera en los docentes en la enseñanza del PC. El primer paso en este proyecto consistió en ofrecer un marco de referencia en torno a este tipo de pensamiento, el cual posibilita justificar su pertinencia tanto en el análisis del discurso mediático sobre ciencia y tecnología como en la educación científica en general. En esta tesis, se comparte la conceptualización del PC de Paul y Elder (2006), por lo que el trabajo de campo en su conjunto gira alrededor de dicha noción.
2. *Selección de los materiales de lectura.* Se consultaron sitios electrónicos de agencias periodísticas y editoriales divulgativas de relevancia nacional para localizar textos que abordaran aspectos relacionados con la nanotecnología del carbono. Asimismo, se fijaron parámetros generales y específicos que permitieran la elección de los más acordes con el sentido de este estudio.

3. *Investigación bibliográfica.* Esta etapa consistió en una amplia búsqueda en la literatura sobre métodos (probados) basados en el binomio lectura-pensamiento crítico. Gracias a este sondeo, fue posible localizar tres grupos de investigación educativa, algunas de sus publicaciones constituyen los referentes teórico-metodológicos de esta tesis—Gordillo (2005); Oliveras y Sanmartí (2009 y 2013); Jarman & McClune (2010 y 2011)—.
4. *Secuencia Piloto.* Es la primera aproximación en la comunicación de las NC, estuvo basada en la aplicación del cuestionario C.R.I.T.I.C. Se decidió reportar como un pilotaje porque dio lugar al diseño de una estrategia de lectura más robusta y articulada en el fomento del PC alrededor de tema.
5. *Propuesta de comunicación de las NC.* Representa la contribución metodológica de este estudio. En ella se recuperan elementos identificados como exitosos en la secuencia piloto y tiene como marco de análisis el modelo operacional propuesto por Jarman y McClune (óp. cit.).
6. *Discusión global.* Se presenta como cierre del quinto capítulo, en ella se ofrece una discusión sobre la viabilidad del trabajo realizado en el desarrollo de elementos de PC alrededor del tema, así como de algunas contribuciones que se desprenden de este al campo de la comunicación y enseñanza de la química.

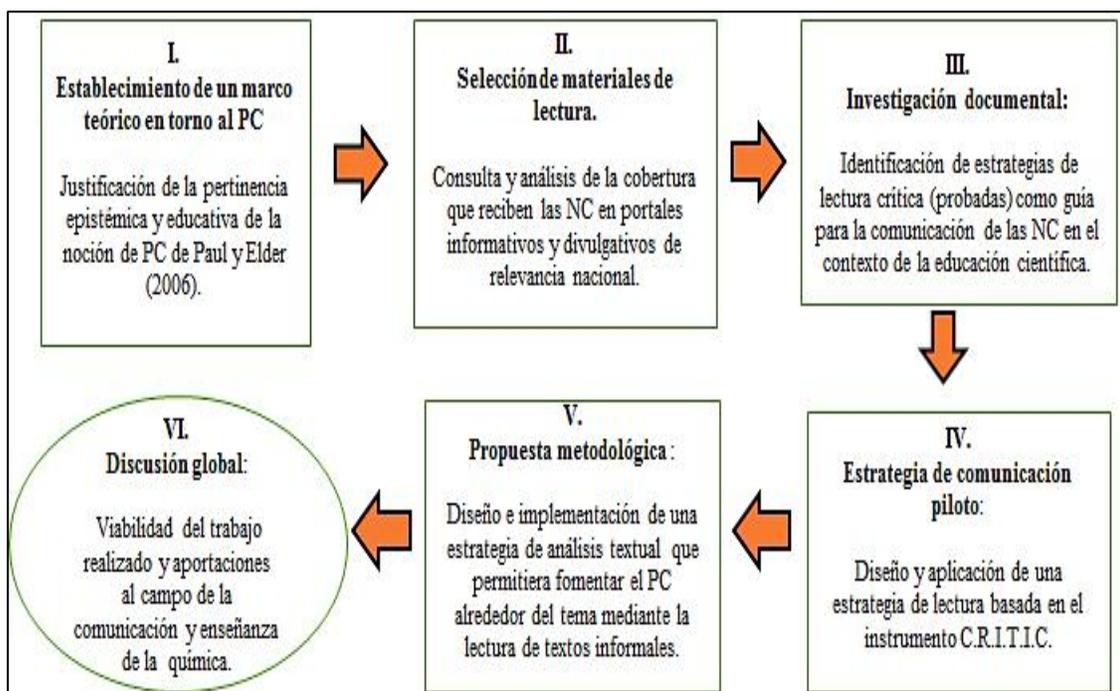


Figura 1. Síntesis de la metodología emprendida en esta investigación.

El bosquejo metodológico presentado en esta sección tiene la finalidad de clarificar y dar un orden secuencial al trabajo emprendido en esta investigación. En la figura 1, se muestra de forma esquematizada.

4.2 Proceso de selección de los materiales de lectura

El primer paso en la elección de las publicaciones utilizadas para comunicar el tema de nanotecnología del carbono en el bachillerato universitario, consistió en establecer algunos parámetros generales para su revisión—estos han sido mencionados en el capítulo anterior—. Con esta primera delimitación, se procedió a realizar una búsqueda en internet sobre la cobertura que recibe esta temática en los espacios informativos y editoriales de divulgación científica de relevancia nacional. Con esta consulta fue posible localizar casi un centenar de textos.

Las fuentes periodísticas que destacaron por la cobertura a esta línea de investigación fueron el portal del diario ibérico *el País*, las agencias de noticias CNN y *BBC-Mundo* en español y, en menor medida, las plataformas digitales de los periódicos nacionales *Reforma*, *el Universal* y *la gaceta* de la UNAM. En cuanto a revistas de divulgación, se encontró información valiosa en la editorial *¿cómo ves?* también de la UNAM, en *Ciencia y Desarrollo* una publicación del Conacyt (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), así como en *Investigación y Ciencia* una edición española de la popular revista *Scientific American*.

El trabajo documental realizado muestra que a pesar de que la nanotecnología del carbono es una línea de investigación emergente, continuamente es referenciada en los medios de comunicación escrita. Hechos que han contribuido favorablemente a atraer la atención mediática sobre el tema, es su potencial en el ramo de la tecnología (principalmente en la electrónica), así como los premios Nobel que ha cosechado, el de química en 1996 por el descubrimiento del fullereno (C₆₀) y el de física en 2010 por la caracterización del grafeno.

Para discriminar entre la gran cantidad de textos encontrados, se fijó una restricción adicional, que fueran publicaciones recientes, esto es, tener cuando mucho dos años de antigüedad con el propósito de ofrecer información actualizada en las clases de química. Esta condición hizo posible refinar el proceso de selección de las lecturas. Como resultado, el número de publicaciones se redujo a tan sólo una docena, se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Textos preseleccionados para la comunicación de las NC

Publicaciones Preseleccionadas	Genero
1. Martin, N. 2011. “Sobre fullerenos, nanotubos y grafenos”, <i>arbor</i> , vol. (187), pp.115-131	Divulgación científica
2. Retseck, G. 2011. “El descubrimiento de las buckybolos y los nanotubos”, <i>INVESTIGACIÓN Y CIENCIA</i> , núm. Monográfico, p. 5.	Divulgación científica
3. “Logran camuflar objeto con nanotubos”. 2011. <i>El Universal</i> , Ciencia, 22/noviembre.	Periodismo Científico
4. Serrano, R. 2011. “Grafeno, material de súperpropiedades”, <i>Ciencia y Desarrollo</i> , vol. 237(252), pp. 10-11.	Divulgación científica
5. Aradas, A. 2012. “Un ascensor para ir al espacio”, <i>BBC-Mundo</i> , Tecnología, 23/febrero.	Periodismo Científico
6. Gross, D. 2012. “Una tela de nanotubos podría cargar tu celular mientras caminas”, <i>CNN-México</i> , Tecnología, 3/abril.	Periodismo Científico
7. “Crean tela que analiza estado de salud y anímico”. 2012. <i>El Universal</i> , ciencia, 11/abril.	Periodismo Científico
8. Murray, G. 2012. “Grafeno: ¿La siguiente revolución tecnológica?”, <i>¿Cómo ves?</i> , núm. 164. pp. 22-25	Divulgación científica
9. Shukman, D. 2013. “La competencia global por el grafeno, el material del futuro”, <i>BBC-Mundo</i> , Tecnología, 15/enero.	Periodismo Científico
10. Bravo, C. 2013. “Incluirán grafeno gadgets del futuro”, <i>Reforma</i> , 04/marzo.	Periodismo Científico
11. Blendis, S. 2013. Grafeno: el ‘material milagroso’ que ‘invadirá’ tu casa muy pronto, <i>CNN-México</i> , 5/octubre.	Periodismo Científico
12. Gúzman, F. 2013. “Avances teóricos relacionados con la captura de contaminantes”, <i>gaceta-UNAM</i> , No. 4561, 9/noviembre.	Periodismo Científico

Una vez identificados los textos que cumplieran con las condiciones generales preestablecidas, se procedió a una revisión más rigurosa. Para ello, como se ha descrito en el capítulo anterior, se fijaron criterios específicos que permitieron valorar sus cualidades en lo relativo a formato, navegación y contenidos. Con estos rubros, se construyó una matriz de análisis basada en trece elementos. Su utilización se ejemplifica en la tabla 2.

Tabla 2. Ejemplo del uso de la matriz de análisis en la selección de los materiales de lectura

Título: Grafeno ¿La siguiente revolución tecnológica? Autor: Guillermo Murray Totarolo y Guillermo Murray Prisant Fuente: Revista <i>¿cómoves?</i> , UNAM; Año: 2012	
Elementos de navegación digital	
Criterios	Observaciones
i. Autoría	Apropiada. Fácil de identificar a nivel individual y editorial.
ii. Volumen de Información	Apropiada. Cuatro páginas. La información se presenta en cinco secciones breves: a) Las personalidades del carbono; b) grafito y cinta adhesiva; c) material maravilloso; d) presente y futuro del grafeno; e) costos y beneficios.
iii. Recursos multimedia	Ausentes
iv. Accesibilidad	Apropiada. Se puede acceder con facilidad al recurso desde un navegador o el buscador interno de la revista : http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/174/grafeno_164.pdf Es posible su revisión lineal y no secuencial.
v. Claridad y legibilidad	Media. El texto es legible, tamaño de letra e interlineado apropiados. Sin embargo, la presencia de un fondo oscuro e imágenes con tonalidades amarillas, hacen un contraste que incomoda un poco su lectura.
vi. Recursos externos	Ausentes
Análisis de Contenidos	
vii. Temas	La lectura del texto permite a los estudiantes activar y poner en marcha importantes contenidos relacionados con la enseñanza de la química orgánica como alotropía del carbono, propiedades de enlace (covalente) y geometría molecular. Aunque está centrado en el grafeno muestra en un recuadro información sobre las otras dos NC de interés en este estudio—fullerenos y nanotubos—. En lo que respecta al contexto del tema, el artículo hace referencia a una amplia variedad de innovaciones tecnológicas que podría aportar el grafeno a la industria (sobre todo de la electrónica) y, en menor medida, algunas limitaciones asociadas con este material.
viii. Rigor	Se hace uso correcto de conceptos, datos y evidencia empírica. Los autores fueron cuidadosos de ofrecer únicamente información respaldada por investigaciones científicas serias. El nivel explicativo es suficiente e ideal para el bachillerato.
ix. Narrativa	Al ser un texto divulgativo se apega a los patrones y códigos de producción que reivindica la comunicación de la ciencia, como es el caso de sencillez y claridad discursiva, así como el uso frecuente de analogías y metáforas. Además, se ofrecen datos históricos para contextualizar la información.
x. Tendencia a resaltar aplicaciones (CTSA)	Existe una referencia constante de como las aportaciones tecnológicas del grafeno podrían cambiar el curso de la vida cotidiana— fabricación de nuevas pantallas, celulares flexibles, computadoras más eficientes, y la fabricación de

	paneles solares—.También, se mencionan datos interesantes sobre el estado de las patentes alrededor del grafeno y su impacto en la construcción de nuevo conocimiento científico (conocimientos sobre naturaleza de la ciencia).
xi. Recursos visuales	Aunque, se esquematiza de manera correcta al grafeno — lámina bidimensional de átomos de carbono—, las imágenes que se ofrecen son limitadas, pues son convencionales y poco emotivas, pero son coherentes con la información presentada.
xii. Uso del discurso referido	En la publicación se da voz al investigador James Hone de la Universidad de Columbia al explicar la propiedad de dureza del grafeno. Se citan algunos trabajos de los descubridores de este material—Andre Geim y K. Novoselov—y la consecución del premio Nobel en 2010.
xiii. Modalización	El autor mantiene una actitud abierta y alentadora sobre el tema. Su limitante, es que explicita de manera superficial la problemática asociadas con el grafeno.

Al revisar nuevamente los doce textos preseleccionados, se confirmó la imposibilidad de contar con materiales que tuvieran una evaluación exitosa en los trece parámetros contemplados. Por ejemplo, se pudo constatar que había algunas publicaciones con un diseño gráfico de calidad pero que adolecían de un manejo adecuado de los contenidos. Otros que incorporan recursos multimedia—animaciones digitales — o enlaces externos (videos) pero tenían un estilo narrativo muy pobre y, viceversa, artículos cuya narrativa eran muy apropiada pero su diseño era modesto o adolecían de herramientas multimedia.

En este trabajo se atestiguó que, la dificultad de contar con textos ideales no se puede asociar con la temática en cuestión, pues como se ha mencionado, a pesar de que la nanotecnología del carbono es una línea de investigación relativamente joven posee una cobertura mediática aceptable. El problema se vincula más bien con la diversidad de estilos y códigos de producción que imperan en la labor comunicativa de la ciencia. Ante tal situación, se optó por establecer prioridades en la selección.

Debido al contexto donde se llevó a cabo este estudio— el bachillerato universitario—, se determinó fijar como primera prioridad la calidad en el manejo de contenidos—conceptuales y contextuales—, así como el uso de una narrativa analógica en su presentación. En cuanto al discurso, se prefirieron textos redactados con un lenguaje claro, preciso—carentes de tecnicismos— y que enfatizarán la conexión de las NC con escenarios de la vida cotidiana.

Como segunda prioridad quedó el diseño gráfico de los textos, se le otorgó mayor importancia a publicaciones que mostraran un modelaje correcto de las NC y, que a su vez, permitieran una lectura ágil y cómoda. Finalmente, como no prioritario quedó el uso de recursos multimedia (animaciones y videos), herramientas que en teoría deberían de estar presentes en la mayoría de las plataformas de lectura digital, pero que en la práctica aún no se han consolidado. Se le restó atención a la presencia de estos recursos porque en las estrategias de lectura reportadas en este trabajo, se incorporó de manera independiente animaciones digitales como complemento en el análisis del tema.

Al ponderar los resultados obtenidos con la tabla matriz y las prioridades de selección antes mencionadas, se decidió elegir el mejor artículo divulgativo para proveer en las aulas un panorama general de las NC. Este recurso tenía que estar acompañado de una publicación periodística, para abordar aplicaciones específicas. De esta forma, quedarían representados en el aula los dos géneros más importantes de la comunicación escrita de la ciencia—capítulo 1—. Los textos que recibieron la calificación más alta, se muestran en la tabla 3, estos constituyen los materiales de lectura con lo que inicialmente se comunicó el tema.

Tabla 3. Materiales seleccionados para la comunicación de las NC¹

Publicación	Género
✓ Murray, G. 2012. “Grafeno: ¿La siguiente revolución tecnológica?”, <i>¿Cómo ves?</i> , núm. 164, pp. 22-25.	Divulgación científica
✓ Gúzman, F. 2013. “Avances teóricos relacionados con la captura de contaminantes”, <i>gaceta-UNAM</i> , No. 4561, 9/noviembre/2013.	Periodismo Científico

Las cualidades de la publicación divulgativa radican en la claridad de su narrativa, el buen uso de información tanto disciplinar como contextual, así como la relevancia de la temática abordada—el rol tecnológico de grafeno—. Por otra parte, el texto periodístico de *gaceta-unam*, se seleccionó porque además de referenciar una investigación ambiental muy pertinente —la adsorción de contaminantes atmosféricos en superficies de grafeno—, su interpretación demandó la activación y aplicación de una serie de contenidos que son cruciales en el estudio de la química del carbono. Así, el artículo divulgativo fue de gran utilidad para comunicar generalidades y dar cauce al análisis del azaroso contexto que envuelve a la

¹ Los textos seleccionados se pueden consultar en el tercer anexo de esta tesis.

nanotecnología del carbono, mientras que el periodístico para mostrar su relevancia disciplinar. Otro aspecto a resaltar sobre estas publicaciones, es que ambas pertenecen a editoriales de la UNAM— las cuales suelen estar presentes en la vida académica del bachillerato universitario —, un factor que motivó su análisis.

4.3 Características de la muestra de estudiantes encuestados

La muestra de estudiantes encuestados tanto en la etapa piloto como en la propuesta de análisis textual del presente estudio, quedó conformada por dos grupos de la Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades plantel Sur (ENCCH-Sur)², una institución adscrita al bachillerato de la Universidad Nacional Autónoma de México. Los alumnos cursaban la asignatura de Química IV, un curso que se imparte en el sexto y último semestre de este nivel de estudios, el cual tiene un enfoque propedéutico, es decir, está orientado principalmente a estudiantes cuya orientación vocacional tiene relación con la ciencia y la tecnología.

La temática disciplinar en la que está centrada la materia en cuestión, es el estudio de la química orgánica. Es de importancia mencionar que, el plan de estudios de la asignatura en cuestión ha sido actualizado recientemente y, entre sus elementos novedosos, se encuentra la aparición de un nuevo subtema como cierre de este curso, el cual invita a referenciar los avances que se están generando tanto el diseño como en la producción de nuevos materiales que tienen como base estructural al carbono. Un hecho que respalda la pertinencia de la comunicación de las NC en la ENCCH³.

4.3.1 Muestra de estudiantes en la etapa piloto

Los datos de los estudiantes que conformaron la muestra en la fase de pilotaje, se muestran en la tabla 4. Cada uno de los grupos de trabajo fueron divididos y organizados en cinco pequeños equipos conformados por cuatro a cinco integrantes. De esta forma, quedaron constituidos diez pequeñas agrupaciones cuyo desempeño fue la base para monitorear el aprovechamiento en el trabajo cooperativo efectuado (n=10). En el caso de actividades que involucraban la evaluación del desempeño individual, la muestra quedó conformada por 42 estudiantes (N=42).

² En el apéndice 2 de esta tesis, se realiza una exposición más vasta de las funciones de esta institución educativa al especificar el sentido de su modelo educativo.

³ En el segundo apéndice, se expone también la relación curricular que posee el estudio de las NC con la asignatura de química IV en la ENCCH-UNAM.

Tabla 4. Características de los estudiantes participantes en la secuencia piloto.

Matricula del grupo	Turno	Edad promedio	Integración por genero	No. de alumnos	No. de equipos de trabajo
637	Matutino	17 años	9 varones; 11 mujeres	20	5
681	Vespertino	18 años	15 varones; 7 mujeres	22	5
Totales			24 varones; 18 mujeres	42	10

4.3.2 Muestra de estudiantes en la propuesta de comunicación de las NC

Para la implementación la estrategia de análisis textual que se propone en este trabajo doctoral, se tuvo que esperar un periodo de un año con respecto a lo realizado en la etapa de pilotaje. Pues, como se ha señalado, la temática curricular donde puede darse el tratamiento de las NC aparece como cierre de la asignatura de Química IV, lo que impidió el trabajo continuo con una sola muestra de estudiantes. Por otro lado, esta materia solamente se imparte en semestres pares en la ENCCH (período que va de enero a junio). Las características de los alumnos que participaron en segunda y definitiva etapa metodológica son muy parecidas a las descritas en la secuencia piloto, como se puede constatar en la tabla 5.

Tabla 5. Características de la muestra de estudiantes encuestados en la comunicación de las NC

Matricula del grupo	Turno	Edad promedio	Integración por genero	Total	No. de equipos de trabajo
629	Matutino	17 años	9 varones; 17 mujeres	26 alumnos	6
637	Matutino	18 años	10 varones; 14 mujeres	24 alumnos	6
Totales			19 varones; 31 mujeres	50 alumnos	12

El único dato que se puede destacar de esta muestra, es que los grupos elegidos poseían un número más nutrido de estudiantes, lo que permitió formar doce pequeños equipos para dar cauce al trabajo cooperativo (n=12), en lo que respecta a la evaluación del rendimiento individual la muestra quedó integrada con un total de cincuenta alumnos (N=50).

4.4. Labor de campo efectuada en la comunicación de las NC

4.4.1 Etapa piloto: aplicación del instrumento C.R.I.T.I.C.

La primera aproximación en la comunicación del tema, se llevó a cabo en cuatro sesiones de dos horas—ocho horas totales— durante las dos primeras semanas correspondientes al mes de mayo del año 2014 en el centro de cómputo de la ENCCH-Sur (periodo escolar 2014-II). Las sesiones fueron conducidas a través de una presentación elaborada por el docente a cargo, en donde además de proyectar las actividades correspondientes en cada una de ellas, se incluía información relevante para su elaboración y herramientas multimedia (animaciones y videos) como apoyo en la revisión de los materiales de lectura⁴.



Figura 2. Estudiantes de la ENCCH-Sur durante la aplicación del instrumento C.R.I.T.I.C (mayo del 2014).

En las primeras dos sesiones se trabajó con el texto periodístico—*avances teóricos relacionados con la captura de contaminantes*—, ya que al narrar con cierto detalle una investigación sobre las contribuciones que las NC en el combate de la contaminación atmosférica, representó una excelente oportunidad para promover la interpretación disciplinar del tema. En las dos sesiones restantes, se analizó la publicación divulgativa desde una óptica contextual. Ello, con la finalidad que los estudiantes reconocieran las implicaciones tecnológicas, éticas y sociales asociadas con el campo de la nanotecnología del carbono. Todas las actividades que se efectuaron en esta secuencia piloto, se diseñaron para cubrir los diferentes rubros de análisis presentes en el cuestionario C.R.I.T.I.C.

⁴ Videos del portal YouTube y animaciones soportadas en el software Java.

4.4.2 Estrategia de comunicación de las NC en la educación química preuniversitaria

La propuesta metodológica de este trabajo, se llevó a cabo nuevamente en las primeras semanas del mes de mayo, pero en esta ocasión del año 2015 (semestre 2015-II) en los laboratorios de computo de la ENCCH-Sur. Al igual como ocurrió con la etapa piloto, tuvo una duración de ocho horas totales (cuatro sesiones) e involucró un esquema de trabajo docente basado en las estrategias didácticas previamente descritas: trabajo cooperativo, diálogo y la mediación docente como mecanismo en la autorregulación del aprendizaje.

En esta segunda fase metodológica, se determinó trabajar exclusivamente con un material de lectura, la publicación extraída de la revista de divulgación científica *¿cómoves?* Son dos motivos los que justifican esta decisión. Por un lado, fue el texto donde se registró el mejor aprovechamiento escolar y el que generó mayor simpatía en el estudiantado durante la estrategia de pilotaje. Por el otro, al contar en esta etapa con un marco de análisis más amplio y estructurado en el fomento del pensamiento crítico, el tiempo destinado para la decodificación de un recurso textual se incrementó significativamente. Por consiguiente, esta acción estuvo encaminada a promover un análisis más riguroso, profundo y reflexivo no solamente de la publicación antes mencionada sino de la temática en general.

Las actividades para dar cauce al proceso de análisis textual, se diseñaron tomando como referencia cuatro etapas en el proceso lector: 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 monitoreo de forma individual (N=50). Las fases de lectura se describen a continuación.

i. Exploración de ideas previas y contextualización. Existe el consenso en la literatura de que tomar en cuenta las denominadas ideas previas de los estudiantes o de cualquier persona en una situación educativa (formal como informal), es una cuestión necesaria y benéfica. Ya que de ellas se desprende información valiosa para fijar un punto de partida en la comunicación o enseñanza de un tema, así como para identificar errores o vicios que exhiben las personas en su razonamiento y trabajar en pro de su modificación (Kind, 2004). La estrategia de análisis textual que se describe a continuación, abre con una serie de preguntas

para conocer la percepción inicial de los estudiantes sobre la nanotecnología del carbono y el tipo de materiales de lectura por utilizar.

También, esta primera fase tuvo como finalidad contextualizar, es decir, 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. Como se mencionó en el primer capítulo de esta tesis, si no se muestra a los alumnos el sentido de las actividades por emprender cuando se incorpora un texto informal a las clases de ciencias, se puede generar confusión o poco compromiso en su interpretación.

- ii. *Análisis disciplinar del texto.* Como se ha discutido, la función cognitiva más importante que se asocia con la criticidad es la de suscitar el entendimiento reflexivo de un tema o contenido disciplinar. Por tanto, en la segunda etapa se plantearon actividades para que los estudiantes reconocieran con claridad la relevancia disciplinar del tema. Gracias a ello, fue posible que activaran una base conceptual previamente adquirida en las clases de química en el análisis del material de lectura.
- iii. *Problematización contextual.* Esta es una actividad que se rescata del trabajo con el C.R.I.T.I.C., ya que resultó exitosa para que los alumnos identificarán implicaciones, consecuencias, contrastarán información y consultarán diferentes puntos de vista sobre el tema. Problematizar consiste en plantear actividades que conduzcan a los estudiantes a investigar, reflexionar y debatir. En la propuesta metodológica, se agregaron dos elementos para reforzar el análisis del azaroso contexto que envuelve al estudio de las NC. El primero, se relaciona con referenciar cuestiones sobre naturaleza de la ciencia (NdC), esto es, el tipo de procesos, estrategias y medios de los que se valen los científicos para crear y validar nuevos conocimientos. Mientras que el segundo, con la identificación y comprensión de algunos elementos básicos vinculados con los objetivos, así como con los rasgos distintivos del discurso mediático sobre ciencia y tecnología.

El análisis del contexto es una labor trascendental para desarrollar una respuesta crítica hacia la información científica que circula en los medios, porque además de dar sentido al estudio de un tema, su revisión hace posible el establecimiento de relaciones explicativas, permitiendo con ello, que el pensamiento se organice y sistematice de forma coherente. En la revisión del contexto que envuelve al

tema, se procuró evitar el razonamiento lineal (centrado en una sola variable), así como la excesiva dispersión al ser descifrado.

- iv. *Elaboración y evaluación de argumentos.* Resulta arriesgado sostener que se ha desarrollado pensamiento crítico sin otorgar importancia a la argumentación. Pues, cómo se ha señalado en el capítulo dos, esta habilidad refleja en gran medida el entendimiento que construyen los estudiantes sobre un tema. Como se puede constatar en las siguientes páginas, desde la primera fase de lectura se solicitó a los estudiantes la elaboración de argumentos con la intención de dar seguimiento al progreso en el aprendizaje del tema. Conforme fue avanzando el proceso interpretativo, su construcción se fue tornando más compleja porque requería amplitud en el análisis.

En este trabajo se estableció como estrategia para evaluar lo conseguido en materia de argumentación, la elaboración individual de un ensayo final (N=50). Se sabe y se comprobó durante la fase de pilotaje que, los estudiantes no están acostumbrados a argumentar en las clases de química (Ortega y Bargalló, 2015). Razón por la cual, se determinó apoyarlos en la elaboración de este producto mediante el establecimiento de un caso simulado, a través del cual debían adoptar una posición sobre el tema y defenderla. Adicionalmente, se ofrecieron pautas a seguir para justificar su postura. La evaluación de este escrito, primero se llevó a cabo mediante una coevaluación en una dinámica de pares. Acto seguido, con el uso de un instrumento que fuera consistente con el trabajo realizado por los estudiantes y que guardara afinidad con los estándares para examinar la calidad del pensamiento propuestos por Paul y Elder (óp.cit.).

La estrategia llevada a cabo para promover y evaluar los logros conseguidos en materia de argumentación, robusteció el trabajo de campo realizado y, coadyuvó de forma importante a evidenciar la consecución de elementos de pensamiento crítico sobre las NC—capítulo 5—.

En las siguientes páginas, se presenta a través de recuadros la secuencia de actividades que involucró la implementación de la propuesta de análisis textual reportada en esta tesis, así como los tiempos estimados para su realización. También, se esboza el sentido de cada una de las tareas realizadas.

4.4.3 Secuencia de actividades en la comunicación de las NC

i. Exploración de conocimientos previos y contextualización.

Se solicitó a los estudiantes que antes de comenzar la lectura revisaran con atención en la pantalla de la computadora, los subtítulos y las imágenes del texto. Posteriormente se les pidió que dieran respuesta de forma individual a tres preguntas:

SESIÓN I

➤ **Actividades previas a la lectura del texto**

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

- 1. Da una revisión rápida del texto, lee con atención el título, los subtítulos, mira a detalle las imágenes, los recuadros y contesta:**

¿Hasta qué punto te parece interesante este artículo?

 - a) Bastante interesante porque...
 - b) Interesante porque ...
 - c) Aburrido porque...

Nota: No olvides justificar tú respuesta.
- 2. ¿Quién es el autor o los autores de esta publicación? Busca en el texto información al respecto.**
- 3. ¿A qué fuente editorial pertenece este artículo? ¿Qué sabes sobre la revista de donde fue extraído el texto?**

Tiempo aproximado: 20 minutos

Cada pregunta se proyectó de forma consecutiva con la finalidad de explorar representaciones previas de los alumnos sobre el material de lectura por analizar. Después del tiempo concedido a esta primera actividad, se solicitó a los estudiantes que concentraran en la resolución de los siguientes reactivos.

SESIÓN I

Realiza una lectura completa e individual del texto. Posteriormente, efectúa las siguientes actividades:

- 4. Subraya las palabras o expresiones que no entiendas y enlístalas para su discusión grupal.**
- 5. Escribe dos cosas del artículo que conozcas con seguridad, explícalas brevemente.**
- 6. En una extensión de máximo cinco renglones describen con tus propias palabras la idea central de este texto.**
- 7. ¿Encuentras relación entre este material de lectura y lo estudiado en el curso de Química IV? Justifica tú 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

Resultó importante que, los estudiantes tuvieran claras las metas de aprendizaje que buscó cubrir la secuencia de actividades planteadas. Gracias a ello, se favoreció que ejercitarán la metacognición y autorregularán su aprendizaje.

En lo concerniente a la resolución de dudas, se recomienda que el docente promueva que sean los propios alumnos los que aporten ideas y conocimientos para resolverlas—la intervención del profesor en esta etapa de ser breve y concisa—. Posteriormente, se sugiere solicitar a cada estudiante que efectúe una redacción propia de las dudas que enlistó. Esto, con el propósito de monitorear el avance en su aclaración. De no concederse un breve lapso de tiempo para la clarificación de las dudas inmediatas que puede suscitar la lectura de un texto, estas pueden persistir y minar su interpretación. Las preguntas 5, 6 y 7, se diseñaron con el objetivo de que los estudiantes activaran conocimientos previos y se esforzaran por encontrar la conexión existente entre las NC y la química estudiada en el salón de clases.

ii. Análisis disciplinar del texto

Se dividió a los dos grupos en seis pequeños equipos conformados por 4 o 5 integrantes (12 agrupaciones resultantes). Esto, con la finalidad de llevar a cabo de forma cooperativa el análisis disciplinar de la publicación.

SESIÓN I

➤ Análisis disciplinar

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

Descripción estructural del grafito y el grafeno

<i>Molécula</i>	<i>No. de dominios electrónicos alrededor de cada átomo de carbono</i>	<i>Tipo de dominios electrónicos (enlaces)</i>	<i>Geometría</i>	<i>Ángulos de enlace</i>	<i>hibridación</i>
Grafito y grafeno					

9. En el texto se menciona que el grafeno es una forma alotrópica del carbono *¿Qué significa esto? Argumenta tú respuesta.*

10. Si el grafito y el grafeno comparten las mismas características químicas en su descripción estructural. **Contesta:**

11. *¿Por qué difieren tanto en sus propiedades físico-químicas? (clave: piensen en la estructura global de ambos materiales y la escala de medida donde están descritos).*

12. En el texto se menciona que el grafeno tiene primos (nanoestructuras muy similares).

¿Quiénes son?

- Mira las animaciones en el blog del curso sobre el grafeno y sus primos. Posteriormente, explica sus diferencias.
- Busca información en internet sobre algunas aplicaciones actuales de los primos del grafeno.

Tiempo estimado: 60 minutos

Con la tabla presente en el reactivo 8, se buscó que los adolescentes recordarán los parámetros químicos estudiados en el curso al describir la estructura de las moléculas covalentes, con la finalidad de que los aplicarán en la descripción tanto del grafito como del grafeno y comprendieran su familiaridad. Posteriormente, con la pregunta 10, los alumnos establecieron diferencias tomando en consideración dos parámetros, la escala de medida la que son descritos estos materiales y su conformación espacial global. Para agilizar este análisis se subieron animaciones digitales al blog del curso⁵, pues se sabe la importancia que tiene la visualización en el proceso de aprendizaje en este nivel de estudio, así como lo relevante que es el modelaje molecular en el estudio de la química.

Finalmente, las preguntas 9, 10 y 11 condujeron a los jóvenes a recordar un concepto químico clave en la interpretación de la publicación (la alotropía), así como al reconocimiento de lo oportuno que resulta el tratamiento del tema. Esto, al solicitarles investigar sobre las conformaciones espaciales y las inusitadas propiedades que puede presentar el carbono en la escala nanoscópica. Es oportuno mencionar que, los estudiantes en clases previas abordaron con el docente algunos elementos básicos implicados en el estudio de la nanotecnología como su definición, objetivos y relevancia, al discutir el primer capítulo de un libro divulgativo escrito por un especialista (Takeuchi, 2009). Por lo que, contaban con los elementos suficientes para llevar a cabo el análisis disciplinar propuesto.

En esta fase a los estudiantes con mejor rendimiento académico se les asignó la tarea de formular respuestas sobre lo relacionado con la descripción estructural de las NC, mientras que a los identificados con un desempeño modesto o regular, lo respectivo al concepto de alotropía, así como la búsqueda de información sobre aplicaciones de fullerenos y nanotubos. El profesor debe supervisar que, los alumnos identifiquen y utilicen criterios disciplinares validos al analizar la lectura. Pues como señalan Paul y Elder (óp.cit.) y comparten Jarman y McClune (2011), el adecuado uso de conceptos, modelos y terminología científica, es un paso determinante para dar cauce al desarrollo de una respuesta crítica de la ciencia que se comunica en los medios.

⁵ Trabajar con un blog o página web (<http://jormeinguer.tumblr.com/>) fue de gran utilidad en el proceso comunicativo, ya que no solamente permitió un acceso ágil al material de lectura en cuestión, también facilitó que los adolescentes consultaran videos (en plataforma YouTube), animaciones digitales (en plataforma java) e infografías como apoyo en su análisis. Otra ventaja que posee este recurso, es que permite romper con la discontinuidad temporal que se da entre una sesión y otra, posibilitando una comunicación activa.

En el inicio de la segunda sesión, se continua con el análisis disciplinar del texto. Pero en esa ocasión, los jóvenes centran su atención en identificar contenidos y evidencia con base científica para explicar la posición que defienden los autores de la publicación divulgativa sobre el tema.

SESIÓN II

Se solicita a los estudiantes que sigan trabajando en equipo, cada uno de los estudiantes trabajara en torno a una de las siguientes preguntas. Posteriormente, se agruparán nuevamente a discutir la labor individual realizada, así como para redactar una respuesta consensada de cada reactivo.

- 12.** 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 olviden justificar tu respuesta.
- 13.** 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).
- 14.** ¿A qué conclusión llegan los autores con la evidencia empírica presentada?
- 15.** ¿Por qué crees que los autores realizaron esta publicación? No olviden justificar tu respuesta.

Tiempo estimado: 30 minutos

Con la pregunta **12**, se solicita nuevamente a los alumnos (pero ahora después de haber revisado la lectura tanto individual como grupalmente) que muestren la relación que tiene el texto con el estudio de la química del carbono. Esto, con el propósito de reforzar la comprensión de la importancia que reviste el tema y la consideración de una base conceptual en su análisis.

Por su parte, la pregunta **13** se planteó para que los estudiantes se dieran cuenta del importante papel que tiene la evidencia empírica en la justificación de los avances que consigue la ciencia—un elemento que está inscrito dentro de los aprendizajes sobre NdC—. Por su parte, los reactivos **14** y **15** fueron extraídos literalmente del instrumento C.R.I.T.I.C., con la intención de que los alumnos comenzaran a poner en perspectiva el posicionamiento de los autores frente al tema.

iii. *Problematización contextual*

La revisión del contexto que rodea a la investigación en NC, fue la labor más amplia y demandante de esta estrategia de análisis textual. Las actividades planteadas al respecto, se describen a continuación.

SESIÓN II

➤ Problematización del texto

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.)

Pista: Portales periodísticos de relevancia nacional que cuentan con información valiosa sobre el grafeno son: *el universal, CNN-México, la revista cnn-expansión, diario el País, BBC-español y gaceta-unam*. 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:

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

Tiempo estimado: 40 minutos

Problematizar en el trabajo de campo significó contrastar los datos, evidencias, afirmaciones y puntos de vista presentes sobre el tema. Para ello, los alumnos realizaron como primera actividad una breve investigación periodística en internet, la cual implicó la búsqueda de elementos que posibilitarán encontrar significados tecnológicos y sociales del tema.

Para superar el razonamiento lineal que suele imperar en las aulas del bachillerato, es crucial que se les solicite a los estudiantes referenciar problemas o cuestiones negativas que giran alrededor de un contenido o temática en cuestión. Esta tarea, les ayuda a ir delineando un posicionamiento y profundizar en la búsqueda de certezas para su justificación. En ese sentido, es que se planteó la elaboración de argumentos a favor y en contra de las NC en esta etapa de análisis.

La segunda sesión finaliza con un juego de rol, en esta actividad los estudiantes explicitan sus ideas sobre aspectos relacionados con la naturaleza de la investigación científica—un tipo de conocimiento ausente en la secuencia piloto—. Para dar cauce a esta labor, los jóvenes dieron respuesta a interrogantes sobre la incertidumbre que impera en el campo de las NC, los medios que utilizan los científicos para validar conocimientos, así como su percepción del estado actual de la investigación sobre el grafeno.

SESIÓN II

*Imaginen que se les ha solicitado como trabajo final del curso de Química exponer un cartel en un congreso estudiantil interuniversitario sobre el grafeno, el evento se lleva a cabo en la explanada del museo de las ciencias Universum. Se encuentran con una audiencia numerosa a su alrededor (25 personas aproximadamente de todas las edades). Ustedes han hablado unos minutos sobre aspectos conceptuales (su estructura, propiedades físico-químicas, dimensión nano, etc.) pero la gente se comienza a aburrir, unos bostezan, otros miran de reojo el celular o el reloj—los expertos afirman que cuando ocurre esto es porque las personas no encuentran ninguna conexión de una temática expuesta con la vida o el mundo real—. De repente, dentro del grupo se escucha un susurro que capta la atención nuevamente de su público, pues todos voltean repentinamente a mirarlos a ustedes fijamente...sí como suele suceder en estos casos es un adolescente con uniforme de secundaria que frunciendo el ceño y en tono fanfarrón les repite a dos compañeritos que se encuentran a un costado **¿y a mí en que me beneficia saber esto del grafeno?** ... Impera el silencio, lo que indica que el público espera su respuesta...*

- 19. Para ser convincentes no sólo con el mal portado estudiante de secundaria sino con toda la audiencia, deben mencionar y explicar por lo menos una aplicación puntual sobre el grafeno, la cual posea altas probabilidades de generar beneficios ya sea a la sociedad o el medio ambiente. Redáctenla a continuación.**

SESIÓN II

Apenas terminan la exposición sobre dicha aplicación, cuando una chica del grupo como de veinte años, con bata blanca, gesto indiferente y aire de sabelotodo levanta la mano, y no les hace una pregunta sino dos... ¡caray!...

20. ¿Es cierto?, o sea, ¿Está lo suficientemente comprobado todo de lo que se habla sobre el grafeno en los medios de comunicación? Proporcionen una respuesta elaborada.

21. ¿La investigación sobre el grafeno reviste riesgos, en otras palabras, puede ser peligrosa para la salud humana o el medio ambiente? Justifiquen su respuesta

Se acaba el tiempo asignado y, solamente pueden dar respuesta a una pregunta más. Esta es realizada por un tipo canoso, que viste un saco a cuadros, usa unos lentes de fondo de botella, sostiene libros y papeles sueltos en sus brazos... a todas luces parece un profe universitario, él con un semblante muy interesado les pregunta:

22. ¿Cuáles son los medios que utilizan los científicos para validar y respaldar los conocimientos que se producen en la investigación sobre el grafeno? Describanlos brevemente.

PISTA. Para contestar estas preguntas hagan uso de toda la información con lo que cuentan, esto es, lo que recabaron en su pequeña investigación documental, la información presente en el texto revisado en clase, así como el material digital que está en el blog del curso. **No contesten precipitadamente, reflexionen individual y grupalmente sobre sus respuestas.**

Como cierre de esta sesión contesten la siguiente pregunta:

23. ¿Cuál de los siguientes incisos concuerda mejor con su idea de los que es la investigación científica? Para cualquier inciso que escojan como su respuesta, es necesario que argumenten, es decir, que ofrezcan 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**

Tiempo estimado: 40 minutos

Al finalizar esta segunda sesión, los estudiantes cuentan con elementos disciplinares, tecnológicos, sociales, factores de riesgo y diferentes puntos de vista a considerar para defender una posición entorno a las NC.

En la tercera y penúltima sesión, se orienta el análisis del material de lectura en la generación de aprendizajes sobre cómo es presentada la ciencia en los medios de comunicación escrita.

SESIÓN III

➤ **Conocimientos 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 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, entretener y 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 nuevamente en equipo, discutan brevemente la información presente en el cuadro. Posteriormente, trabajen cooperativamente para dar solución a las siguientes preguntas relacionadas con la forma como es presentada la información en el material de lectura analizado.

- 24. ¿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.
- 25. ¿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.
- 26. ¿En 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.

SESIÓN III

- 27. 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.**
- 28. ¿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 tú respuesta.**
- 29. Están a unos días de dejar el entrañable CCH, reflexionen al contestar la siguiente pregunta: ¿Creen que es útil que en el bachillerato universitario se generen aprendizajes de cómo se presenta y debe analizarse la información científica que circula en los medios de comunicación? ¿Por qué?**

PREGUNTA FINAL (INDIVIDUAL)

- 30. ¿Fue de tú agrado la forma en que se abordó el tema de nanotecnología del carbono? Justifica tu respuesta dando tú opinión sobre los materiales que consultaste y la forma en que se organizó el trabajo escolar en el tratamiento del tema.**

Tiempo aproximado: 40 minutos

Para dar cauce a este tipo de aprendizajes, se elaboró un recuadro en donde se sintetizan aspectos discutidos en el primer capítulo de esta tesis sobre algunos rasgos que caracterizan a la comunicación escrita de la ciencia. Con su discusión, se pretendió que los estudiantes reconocieran aspectos tanto positivos como negativos de la ciencia presente en los medios.

Una vez que los adolescentes discutieron esta información, se le solicitó que ponderaran la objetividad, así como la intencionalidad del texto trabajado en clase, al dar solución a las preguntas 24, 25 y 26. Por su parte, la pregunta 27 se elaboró para que los alumnos explicitaran ventajas y desventajas presentes en los textos científicos informales. Era de esperar que al identificar estas últimas en el material de lectura analizado en clase, los alumnos reconsideraran afirmaciones y tomaran conciencia sobre el valor que tiene generar una respuesta crítica desde la escuela a

este tipo de fuentes. De hecho, el reactivo **29** se diseñó para dar seguimiento a esta percepción. Según Jarman y McClune (2010), los aprendizajes que se desprenden del análisis de la ciencia presente en los medios son clave porque incrementan significativamente el grado de reflexión y cautela en la interpretación de un tema.

iv. Elaboración y evaluación de argumentos

La tercera sesión culmina con una breve discusión grupal, en la que el docente da a conocer la estructura y las pautas argumentativas que los jóvenes debían considerar en la elaboración de un escrito o ensayo final sobre el tema.

SESIÓN III

➤ **Elaboración de un escrito final**

Como cierre de esta estrategia de lectura realizarán un ensayo final (**actividad individual**), en donde deben mostrar una posición argumentada sobre el tema.

Como seguramente sabes los programas de estudios de la ENCCH-UNAM se encuentran en un proceso de actualización. El de Química IV no es la excepción, y está por aprobarse la inclusión del estudio de materiales como el grafeno en el cierre del plan de estudios de la asignatura. En un ensayo muestra tu opinión sobre esta propuesta de forma “reflexiva”.

Lineamientos en la elaboración del ensayo

El docente comunica y discute con el grupo las características, así como las pautas a considerar en la elaboración de su escrito final

a) Características

- i.** El título será libre, pero debe hacer alusión al tema central del ensayo (*la defensa o rechazo de la inclusión del grafeno al plan de estudios de Química IV*).
- ii.** Su extensión mínima es una cuartilla y su extensión máxima es de cuartilla y media (500-700 palabras aproximadamente).
- iii.** Deberá ser elaborado en el programa Word de la paquetería Office con el tipo de letra *Arial*, tamaño 12 y márgenes e interlineado estándar. El nombre del alumno y el grupo deben estar insertos como encabezado de página.
- iv.** No deben existir subtítulos sino una argumentación continua.

SESIÓN III**a) Pautas para su realización**

Las pautas en las que te puedes basar para construir tú ensayo se muestran a continuación:

<i>Estructura argumentativa</i>	<i>Pautas a considerar en la redacción...</i>
1. <i>Idea de partida o posición manifiesta.</i>	Estoy a favor o en contra de la incorporación del estudio del grafeno en la asignatura de Química IV de la ENCCH-UNAM porque...
2. <i>Evidencias (datos, hechos, cifras)</i>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Relación del grafeno con la Química del carbono (manejo disciplinar de la información). ➤ El estudio del grafeno 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. <i>Contrargumentos y/o refutaciones</i>	Problemática asociada en torno al grafeno (cuestiones negativas, controvertidas o delicadas a considerar en el análisis del tema).
4. <i>Reconsideración de afirmaciones</i>	Valoración de los aspectos positivos y negativos expuestos sobre el grafeno. Incorporación de información alternativa (por ejemplo, conocimientos o beneficios que el estudio del grafeno pudiera generar en áreas ajenas a la química)
5. <i>Conclusiones</i>	Por lo tanto, concluyo que...

Tiempo aproximado: 40 minutos

El tiempo restante se otorgó a los estudiantes para que comenzarán 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: 30 minutos

En este trabajo la habilidad de argumentar, se entiende como el proceso de arribar a una conclusión y defenderla con base en razones. Concretamente, la elaboración de un ensayo final como cierre de la estrategia de lectura permitió reconocer si los estudiantes asumían una postura en torno a las NC, así como el grado de amplitud, validez y coherencia al defenderla.

En estos productos, se valoró la capacidad de los estudiantes para articular los elementos que configuran al PC según Paul y Elder, como es el caso del uso de conceptos, el reconocimiento de supuestos, la contrastación de datos e información, la consideración de diferentes puntos de vista, el establecimiento de inferencias y la búsqueda de implicaciones. Para que los estudiantes pudieran emprender esta actividad, se determinó ofrecerles pautas y conducir su elaboración mediante el establecimiento de un caso simulado (Gordillo, *óp. cit.*).

En la fecha que se implementó esta metodología (mayo del 2015), se discutía en la institución educativa donde se llevó a cabo—ENCCH-UNAM—el sentido de una actualización curricular en algunas materias, entre ellas, se encontraba la asignatura de Química IV donde está inscrita la temática en cuestión. La comunidad estudiantil estaba muy interesada en el rumbo de esta discusión. Es por ello, que se decidió utilizar este contexto en el planteamiento del caso simulado que fungiría como tema central de los ensayos. Al respecto, se es consciente que para analizar una reforma educativa se deben tomar en cuenta factores administrativos, institucionales, pedagógicos e inclusive políticos, es decir, variables que trascienden la labor que se realiza en las aulas. Para evitar esta dispersión, se pidió a los jóvenes que apoyaran su argumentación exclusivamente en los aprendizajes construidos y la información consultada sobre el tema en el proceso de análisis textual descrito en este apartado.

Aunado a ello, se dedicaron unos minutos para ofrecer información sobre aspectos puntuales que debían considerar los estudiantes al elaborar su ensayo. Esto porque como se ha señalado con reiteración, se sabe que los estudiantes de este nivel de estudio les cuesta mucho trabajo argumentar, por lo que era necesario apoyarlos. Las pautas establecidas, se adaptaron de una secuencia didáctica de Emilio Pedrinaci (2008)⁶ presente en el portal educativo *leer.es*. Se describen a continuación.

⁶ Pedrinaci, E. 2008. *¿Es sostenible tu consumo? Como construir una argumentación científica*. Revisado en: http://leer.es/documents/235507/242734/bach1_eso4_bg_fq_cmc_consumosost_al_pedrinaci.pdf/f1dd2d7b-9d86-46ed-a7b1-8075fa44af05

- *Idea de partida o manifestar una posición.* Es la afirmación sobre la que se organiza la argumentación, en esta se debe enunciar abiertamente una postura frente al tema central del escrito. En la perspectiva del PC asumida, esta pauta hace referencia al propósito que guía el acto de pensar, es decir, al intento de dar solución a un problema o explicar una situación determinada.
- *Evidencias (datos, hechos, cifras).* Para defender una idea o posición esta debe estar justificada en buenas evidencias, las cuales pueden ser datos científicos, hechos comprobados, cifras estadísticas o ideas razonables. Las evidencias que apoyan la afirmación inicial, se pidió que estuvieran redactas de forma clara y coherente, es decir, llevar un orden lógico. Este rubro está conectado con lo respectivo al manejo de conceptos, información tanto disciplinar como contextual, así como la búsqueda de implicaciones en la definición del PC.
- *Contrargumentos y/o refutaciones.* Es la consideración y el manejo de datos o evidencias contrarias a la idea o posición que se defiende en un escrito argumentativo. En la noción de Paul y Elder, este elemento alude a la necesidad de contrastar información y ampliar el reconocimiento de los supuestos que envuelve un tema.
- *Reconsideración de afirmaciones.* Es la capacidad de mostrar acuerdos y desacuerdos sobre la evidencia presentada en la argumentación, y la oportunidad de incorporar evidencia alternativa como recurso retórico para dar fuerza a la afirmación que se defiende. Desde la óptica de la criticidad, esta acción representa una forma de incentivar la metacognición, esto es, el reconocimiento por parte de los estudiantes del grado de validez que tienen sus inferencias, juicios y opiniones alrededor del tema.
- *Conclusión.* Es la idea final redactada de forma asertiva. Puede, o no, coincidir con la idea de partida, pero debe ser consecuencia de la estructura de la argumentación. Permitted monitorear, si el entendimiento del tema fue producto de un razonamiento coherente y sistematizado.

La primera versión del ensayo fue realizada como trabajo en casa por los estudiantes y coevaluado en una dinámica de pares. Una cuestión que permitió a los estudiantes identificar aciertos y fallas en su primera redacción del escrito, esto con miras a incrementar su calidad.

SESIÓN IV

➤ Coevaluación del ensayo final

Intercambia tú 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 tú escrito.

Palomea al evaluar la columna **Sí** cuando el texto cumpla satisfactoriamente con el parámetro indicado en la tabla, **R** cuando consideres que lo hace de forma regular y **No** cuando este sea deficiente. Cuando evalúes como regular (**R**) o malo (**No**) en un rubro específico, describe el motivo de tu calificación y aconseja de forma breve como podría mejorarse dicho apartado.

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 grafeno) 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 controvertida o contraria a su punto de vista?				
7. ¿Su conclusión es consecuencia de los argumentos expuestos?				
8. ¿El texto te convence?				

Nombre del Evaluador/a

Reunanse en pares (evaluador – redactor) por unos minutos, para intercambiar precisiones sobre la co-evaluación realizada.

Tiempo aproximado: 45 minutos

SESIÓN IV

Reflexiona por unos minutos sobre los errores y observaciones que te señaló el co-evaluador sobre tu escrito, revísalo nuevamente de forma autocrítica. Procede a corregirlo y entrégalo a tu profesor.

¡No hagas esta actividad precipitadamente !

Toma en cuenta que tu evaluación personal en el proceso de lectura depende en gran medida de la calidad de tu versión final del ensayo.

Tiempo aproximado: 50 minutos

La evaluación de la versión final del escrito, se llevó a cabo con una rúbrica constituida por ocho apartados, la cual es una readaptación de un instrumento más amplio (Cedillo y Macias, 2012). Su utilidad estriba en que es congruente con los estándares propuestos por Paul y Elder para reconocer la calidad del pensamiento, con el trabajo llevado a cabo por los estudiantes y permite valorar de forma razonable la argumentación escolar ⁷.

Como cierre de este capítulo, se puede constatar que la incorporación de textos de naturaleza mediática para el desarrollo del pensamiento crítico en el contexto de la educación científica escolar, es una labor demandante, amplia y compleja. Debido a que, su éxito requiere de un trabajo sistematizado, el cual articule una serie de conocimientos y habilidades que van más allá del ámbito disciplinar.

En las siguientes páginas, se describen los resultados conseguidos con esta propuesta metodológica y se discuten sus contribuciones a la educación química preuniversitaria.

⁷ El instrumento utilizado en la evaluación de la argumentación individual, se muestra a detalle en el anexo cinco de esta tesis. La rúbrica para evaluar los ensayos finales, se probó de forma preliminar—28/ enero/2015— al analizar un texto divulgativo relacionado con las propiedades físico-químicas del elemento carbono (Gasque, 2001).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este último capítulo, se presentan los resultados obtenidos en esta investigación. Su exposición está dividida en dos secciones, la primera de ellas corresponde a lo conseguido en la etapa de pilotaje y la segunda a la implementación de la propuesta de análisis textual descrita en el capítulo anterior. Posteriormente, se analiza la viabilidad de los logros obtenidos en el desarrollo del PC y se discuten las contribuciones más importantes que se desprende de este trabajo doctoral al campo de la educación química preuniversitaria.

5.1 Resumen de los hallazgos encontrados en la fase piloto

Como se mencionó en el tercer capítulo de esta tesis, esta primera aproximación en la comunicación de la nanotecnología del carbono consistió en la incorporación de un par de textos informales a las clases del cuarto curso de química en la ENCCH-Sur. El análisis de estas lecturas, se llevó a cabo con la aplicación de un instrumento denominado C.R.I.T.I.C.

El cuestionario está conformado por cinco rubros de análisis: *Consigna*, *Rol del autor*, *Información*, *Test*, *Ideas* y *Conclusión*. La primera categoría (*Consigna*) tiene que ver con la habilidad de los estudiantes de identificar la idea principal de un texto, la concerniente a *Rol del autor* se relaciona con valorar el tratamiento que el autor de una publicación hace de la temática que aborda e indagar sobre su intencionalidad, el parámetro *Ideas* con la capacidad de inferir significados y analizar la validez de las ideas expresadas un recurso textual, el elemento *Test* con trazar un rumbo de acción para dar solución a un problema o a una explicación sobre una situación de interés plasmada en un texto, lo referente a *Información* con el proceso de valorar y contrastar información y, finalmente, el rubro *Conclusión* con el desarrollo de una posición informada alrededor del tema o contenido en cuestión. Las primeras cinco categorías, se trabajaron cooperativamente ($n=10$), solamente lo relativo al elemento *Conclusión* fue llevado a cabo de forma individual ($N=42$).

La evaluación de cada apartado del instrumento, se llevó a cabo con rúbricas con una escala de calificación de 1 a 5. De tal forma que, cuando el desempeño es ubicado en los indicadores de aprendizaje con una puntuación entre 1 y 2, se cataloga como malo, la puntuación 3 denota un desempeño regular, la 4 de bueno y la calificación

de 5 hace referencia a un aprovechamiento óptimo¹. En la tabla 1, se agrupan los resultados obtenidos en cada elemento del C.R.I.T.I.C al analizar los dos materiales seleccionados para comunicar el tema. Mientas que, su representación gráfica se muestra en la figura 1.

Tabla 1. Media y desviación estándar de los elementos trabajados cooperativamente con el CRITIC ($n=10$).

CATEGORÍA	TEXTO PERIODÍSTICO	ARTÍCULO DIVULGATIVO	p^2
CONSIGNA	2.7 ± 0.48	2.45 ± 0.5	0.343
ROL DEL AUTOR	3.4 ± 0.51	3.5 ± 1.26	0.758
INFORMACIÓN	1.8 ± 0.53	2.05 ± 0.43	0.381
TEST	2.8 ± 1.03	3.9 ± 0.56	<0.012
IDEAS	3.3 ± 1.06	3.6 ± 1.26	0.496

Como se puede constatar en la tabla 1, el rubro *Test* es la único donde el *p-valor* al comparar las medias de desempeño por rubro al analizar las dos lecturas muestra una diferencia significativa. Esta disparidad, se asoció con dos factores, la calidad de las publicaciones llevadas a las clases de química y el enfoque en su tratamiento.

Por la temática abordada, la forma en que presenta la información y su narrativa, los estudiantes mostraron más esfuerzo e interés al trabajar el artículo divulgativo. No obstante, se considera que el motivo de peso que explica la diferencia estadística antes mencionada, se relaciona con la forma como fueron analizadas. Se observó un desempeño mayor en actividades que involucraban la búsqueda de información contextual en internet, en comparación de un análisis conceptual del texto periodístico que involucró la revisión de las notas del curso y la consulta de fuentes académicas tradicionales (libros de texto). Este resultado confirmó un hecho señalado con anterioridad: para que la incorporación de textos provenientes del

¹ En el anexo 4, se muestra a detalle el baremo utilizado en la evaluación del desempeño con el C.R.I.T.I.C.

² Valor de “*p*” obtenido al realizar una prueba *t-pareada*. Una prueba *t-pareada* consiste en la realización de una prueba de hipótesis que asume condiciones de normalidad estadística. En esta, se lleva a cabo un análisis comparativo tomando pares de valores que corresponden a una misma observación en una muestra dependiente. En el caso de este estudio, la respuesta de un conjunto de estudiantes a dos lecturas tomando como referente un mismo instrumento—el CRITIC—.

Al ser una prueba de hipótesis de tipo “*t*”, se asume como hipótesis nula (H_0) la similitud entre las medias comparadas y como hipótesis alternativa (H_a) su diferencia. El parámetro que permite reconocer una diferencia significativa es lo que se conoce como *p-valor*—un número probabilístico que oscila entre 0 y 1—. Por convención, un indicador para rechazar H_0 y asumir la existencia de una diferencia significativa en esta prueba es que el *p-valor* sea menor a 0.05, esto se debe a un criterio estadístico denominado teorema del límite central.

campo de la comunicación de la ciencia sea un proceso exitoso en el contexto escolar, es necesario plantear rutas de análisis que tengan como base el planificado uso de las TIC's.

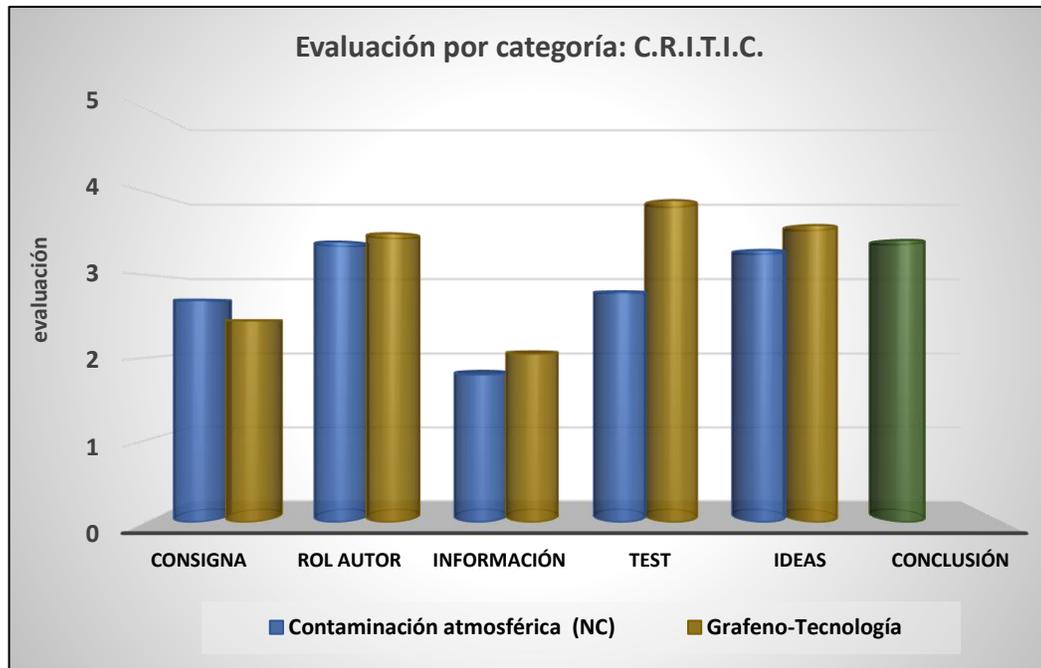


Figura 1. Resultados obtenidos en las categorías del instrumento CRITIC al analizar los materiales de lectura (n=10).

Al observar la figura 1, concernientes al desempeño escolar obtenido al analizar los materiales de lectura con el C.R.I.T.I.C., es posible percatarse que, en la mayoría de las categorías que constituyen a este instrumento, el aprovechamiento escolar osciló entre regular y bueno (valor 3 y 4 respectivamente). Con excepción de dos elementos, los correspondientes a *Consigna* e *Información*.

En el primer caso, el bajo nivel de ejecución se asoció con el hecho de que el elemento *Consigna* representó la etapa inicial o de arranque de la estrategia de lectura. En ella, los estudiantes en lugar de mostrar confianza y profundidad al resolver las actividades planteadas recurrieron a vicios escolares muy arraigados, como es el caso de elaboración de resúmenes o extraer literalmente información de las publicaciones. Un problema que al ser debidamente regulado permitió mejorar su desempeño en etapas posteriores. Mientras que, lo concerniente al elemento *Información* se debió a una falla en el diseño de las actividades.

En esta etapa metodológica, se le otorgó prioridad a la construcción de aprendizajes relacionados con aspectos conceptuales y contextuales sobre el tema. Restando con ello, importancia a la discusión de cuestiones que hicieran posible el análisis de los objetivos, la intencionalidad y la subjetividad que caracteriza a la ciencia escrita presente en los medios de comunicación. Como consecuencia, la mayoría de los adolescentes en lugar de ponderar la credibilidad de la información presente en los recursos textuales llevados al aula, tomaron sus contenidos como ciertos y arguyeron para defender esta posición ingenua, la calidad de su sello editorial. Este resultado comenzó a generar la idea de reestructurar el trabajo de campo realizado.

Los resultados del rubro *Conclusión*, se obtuvieron de forma individual e indican la aptitud de los estudiantes de mostrar una posición argumentada sobre el tema. Como se observar en la figura 2, los resultados fueron ubicados en un nivel de desempeño regular. Sin embargo, al reexaminar los productos recabados para evaluar la argumentación sobre el tema con mayor detalle, se detectaron severas fallas. Por ejemplo, el poco uso que se le dio a la información disciplinar en la construcción de argumentos, una marcada desarticulación al expresar ideas, así como la incapacidad de establecer acuerdos y, sobre todo, de discutir disensos alrededor de la nanotecnología del carbono.

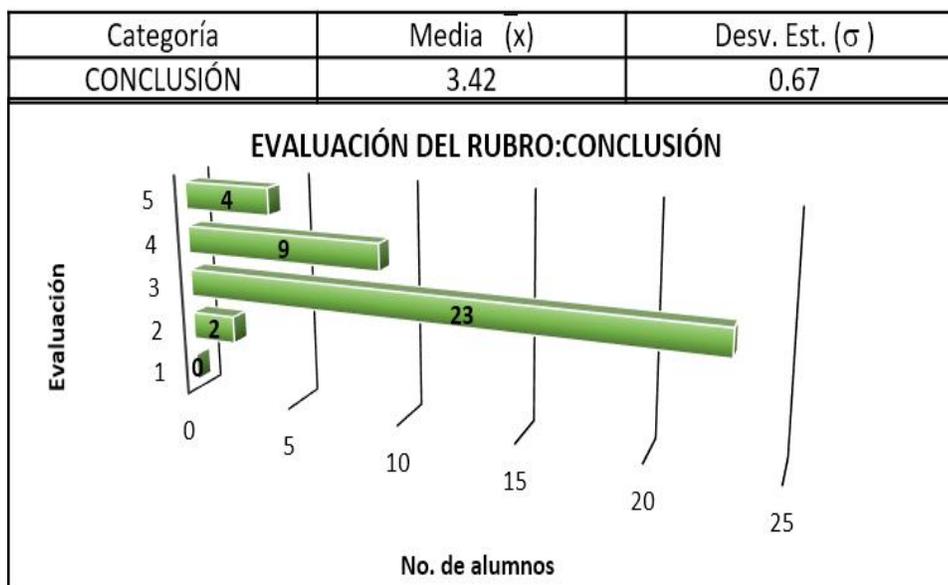


Figura 2. Resultados encontrados al evaluar el rubro conclusión (N=42)

Lo anterior, corroboró la tendencia reportada en capítulos anteriores, esto es, lo difícil que les resulta a los estudiantes de este nivel de estudios argumentar en las clases ciencia, pero también que, la rúbrica para evaluar lo conseguido en materia argumentativa con el C.R.I.T.I.C. es laxa. Pues, la puntuación obtenida con el baremo—anexo 4—no refleja el desempeño real observado en los estudiantes. Las deficiencias identificadas en materia argumentativa, fue un factor de peso que indicó la consecución de una interpretación de las NC más cargada hacia el pensamiento lineal que a la criticidad.

Además de lo descrito en el párrafo anterior, dos omisiones resultaron evidentes en el trabajo con el C.R.I.T.I.C. La primera de ellas, es la nula referencia a la construcción de aprendizajes relacionados con naturaleza de la ciencia (NdC)—una cuestión mencionada en el capítulo anterior—, dicha omisión contribuyó de manera importante al sesgo interpretativo reportado. La segunda, se atribuye a la falta de un marco teórico y la ausencia de indicadores para dar seguimiento al aprendizaje actitudinal, un elemento de primer orden en el reconocimiento del PC. Debido a tales omisiones, las fallas metodológicas reportadas, así como los cortos resultados conseguidos en materia de argumentación, se determinó reportar lo realizado en esta secuencia de lectura como una aproximación piloto y optar por el diseño de una nueva estrategia de análisis textual más abarcante.

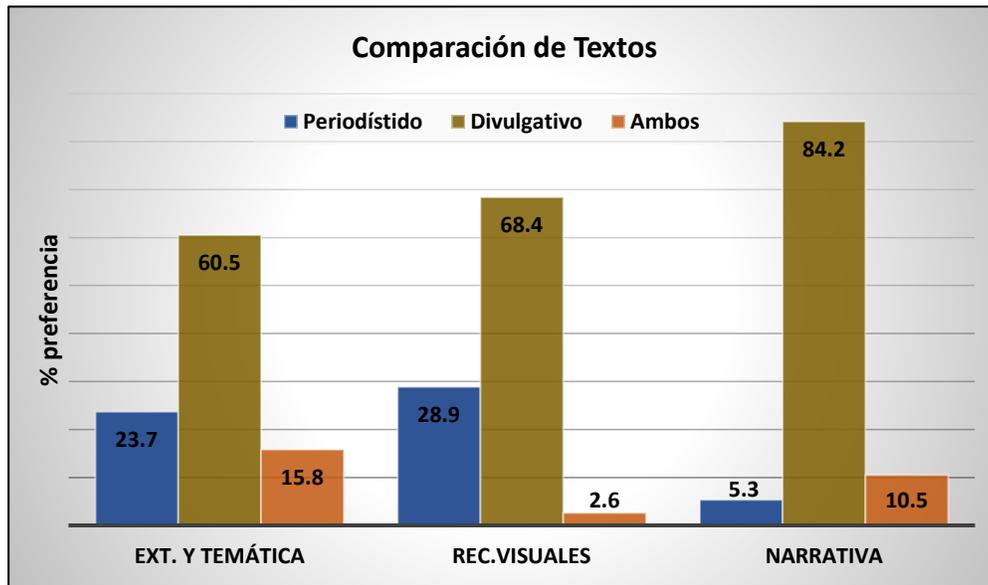


Figura 3. Resultados porcentuales de la comparación de los materiales de lectura (n=42).

Finalmente, un resultado que es digno de resaltar en esta fase de pilotaje, es la marcada preferencia que mostraron los alumnos por el texto divulgativo al comparar los materiales de lectura analizados —figura 3—. Un hecho que confirmó, lo reportado por Halkia y Mantzouridis (2005) en el capítulo uno, esto es, la predilección que tienen los adolescentes por recursos textuales provenientes de revistas o editoriales de divulgación de la ciencia en comparación de fuentes periodísticas tradicionales. Esta tendencia explica también, por qué el aprovechamiento en la mayoría de los elementos que estructuran al C.R.I.T.I.C. fue superior cuando se trabajó el artículo divulgativo.

A pesar, de la imposibilidad de reconocer de forma convincente el desarrollo de elementos de pensamiento crítico sobre el tema con el método C.R.I.T.I.C. Se considera que, representa una ruta encomiable para organizar el trabajo escolar a través de la lectura, así como para mostrar la relevancia que tiene el estudio de la ciencia en la vida más allá del aula—formación de aprendizajes significativos—. En el siguiente recuadro, se resumen los resultados más significativos obtenidos en esta secuencia piloto.

Síntesis de los resultados obtenidos al aplicar el instrumento C.R.I.T.I.C.

- Al explicitar sus conocimientos previos sobre las lecturas, los alumnos ofrecieron respuestas con un alto grado de generalidad o imprecisión
- Los jóvenes tienden a problematizar de forma lineal lo que leen, es decir, centran su atención en una de las variables y no en la interrelación de todas las involucradas en un problema.
- Los estudiantes mostraron una comprensión disciplinar suficiente del tema.
- Los alumnos realizaron con más emotividad y rigor tareas relacionadas con aspectos contextuales que con cuestiones disciplinares alrededor del tema.
- Los jóvenes mostraron comprensión de la importancia del tema en el ámbito tecnológico y social.
- Los adolescentes no fueron capaces de cuestionar la información presentada en las publicaciones.
- Los estudiantes exhibieron un desempeño muy limitado al elaborar argumentos sobre el tema.
- Los alumnos muestran preferencia por textos cuya temática es controvertida y guarda relación con cuestiones utilitarias o significativas en su vida cotidiana.
- Los adolescentes muestran preferencia por textos cuya narrativa es clara (carente de tecnicismos), concisa y analógica.
- La metodología C.R.I.T.I.C. resultó ser una estrategia valiosa y eficaz para organizar el trabajo escolar alrededor de la lectura.

5.2 Resultados obtenidos en la propuesta de comunicación de las NC

En esta sección, se presentan los resultados de la estrategia de análisis textual propuesta en esta tesis. Como fue descrito en capítulos anteriores, el diseño de esta estrategia tuvo como referente el modelo operacional (MO) elaborado por los académicos R. Jarman y B. McClune (2011). Los hallazgos encontrados, se ofrecen siguiendo los cuatro dominios que caracterizan a este programa de trabajo —*Conocimiento sobre Ciencia, Habilidades, Ciencia en los Medios y Actitudes*—, con excepción de lo relativo a la exploración de conocimientos previos.

Para interpretar los resultados se debe tener en cuenta que, este esquema de análisis prioriza la evaluación cualitativa, ya que cuenta con indicadores de aprendizaje que permiten situar el desempeño escolar en tres niveles: básico, medio y avanzado— anexo 5—. Esta perspectiva de evaluación es congruente con la forma que es percibido el PC tanto en el MO como en este trabajo, esto es, como una aptitud emergente y progresiva. En otras palabras, como una virtud intelectual.

5.2.1 Exploración de ideas previas

A la mayoría de los alumnos, les pareció interesante el artículo divulgativo por tener como tema central la innovación tecnológica. Se observó que todas las agrupaciones (n=12) identificaron correctamente y con relativa facilidad su autoría, así como procedencia editorial. Sin embargo, cuando se les solicitó que expusieran sus ideas sobre la naturaleza de la fuente donde se extrajo la publicación, los adolescentes ofrecieron respuestas ambiguas. Por ejemplo, uno de los problemas más comunes fue que no podían explicar de forma clara la función divulgativa de la revista *¿cómo ves?* e inclusive algunos equipos la definieron erróneamente como una publicación científica.

Al referenciar el tema central de la lectura, buena parte de los estudiantes únicamente parafrasearon el título o los subtítulos presentes en ellas, un indicio de que sus ideas previas sobre las nanoestructuras de carbono (NC) eran limitadas. Mientras en lo concerniente a la relación de artículo con el curso de Química IV, se obtuvieron mejores resultados, pues se explicitaron asociaciones conceptuales correctas. En la figura 4, se presenta en porcentajes los resultados descritos.

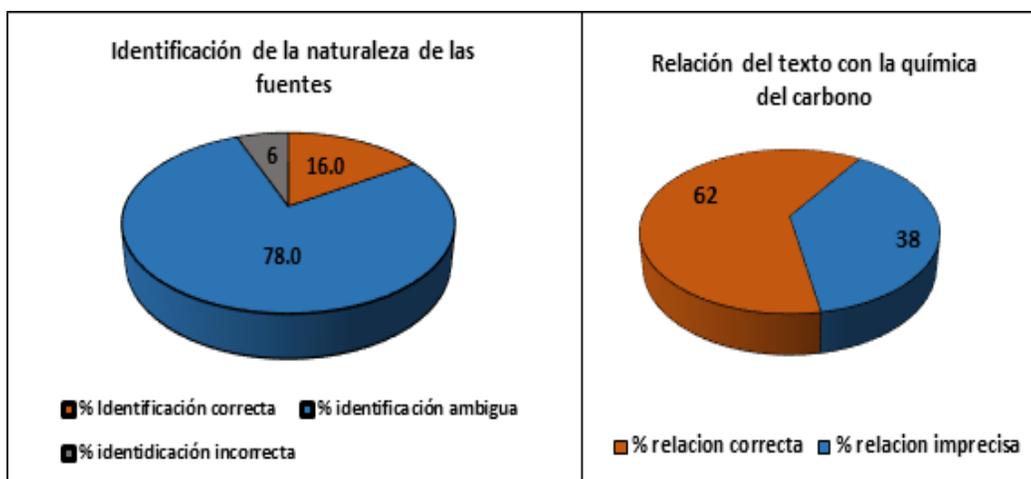


Figura 4. Exploración de conocimientos previos sobre el tema y procedencia editorial del artículo divulgativo (n=12).

Las dudas más mencionadas fueron: sustrato, transistor, tracción, imagenología y sonda. La mayoría de ellas derivan de las posibles aplicaciones tecnológicas que se citan en el texto sobre el grafeno. Estas fueron discutidas grupalmente con el apoyo de una breve presentación. Los conceptos disciplinares más citados por los estudiantes con relación con el tema fueron el fenómeno de alotropía y la noción de nanotecnología (discutida en clases previas a esta secuencia de actividades).

5.2.2 Conocimientos sobre ciencia

Esta categoría es la más extensa en el MO, para cubrirla, los estudiantes deben movilizar conocimientos disciplinares y sobre naturaleza de la ciencia que les permita interpretar correctamente los contenidos científicos presentes en textos informales. Asimismo, deben ser capaces de valorar el impacto tecnológico, sociocultural y ambiental inherente a una temática en estudio—enfoque CTS-A—.

Como se puede observar en la figura 5, el nivel de aprendizaje que mejor describe el desempeño observado en los tres subapartados que integran este dominio, es el intermedio. Esto quiere decir que, los estudiantes en su mayoría fueron capaces de desarrollar los conocimientos suficientes que demanda este perfil de análisis. Resultados que se analizan con mayor detalle en las siguientes páginas.

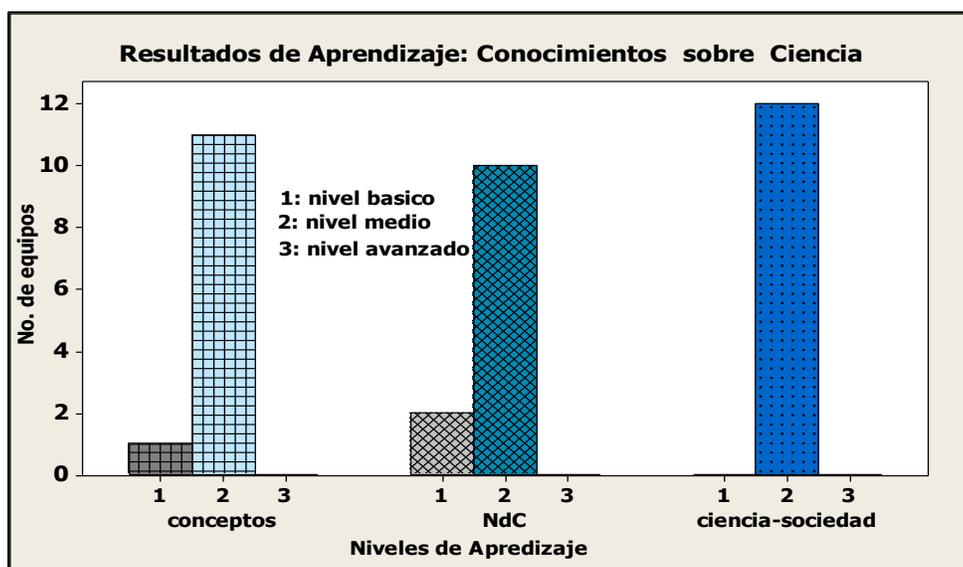


Figura 5. Aprovechamiento escolar encontrado en el rubro de análisis conocimiento sobre ciencia (n=12).

i. Conceptos

Los estudiantes iniciaron el trabajo disciplinar realizando una descripción estructural de las NC presentes en el artículo divulgativo, los resultados obtenidos de esta labor se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades estructurales de las NC presentes en la publicación

<i>Contenidos</i>	<i>Descripción</i>	
	<i>Correcta</i>	<i>Incorrecta</i>
Parámetros estructurales comunes entre las NC y el grafito. (Geometría, hibridación y enlace).	9 equipos	3 equipos (Hibridación y tipo de enlaces erróneos)
Diferencias estructurales entre el grafito y las NC. (escala de medida y estructura global).	10 equipos	2 equipo (establecieron sólo el orden de magnitud como diferencia)
Descripción de las NC presentes en la publicación.	8 equipos	4 equipos (descripción ambigua)

El uso de animaciones digitales favoreció significativamente el análisis estructural solicitado. Los alumnos pudieron establecer semejanzas y diferencias entre las NC y el grafito (material macroscópico que las engloba), lo que permitió incrementar el dominio conceptual acerca de sus propiedades y la razón de algunas de sus aplicaciones. También, manifestaron cierta comprensión acerca de que la

nanotecnología del carbono es una línea de investigación multidisciplinar donde predomina el trabajo instrumental a diferencia de la ciencia escolar que se caracteriza por una fuerte connotación experimental. En general, se pudo evidenciar una interpretación disciplinar suficiente del tema.

ii. Naturaleza de la Ciencia (NdC)

Los aprendizajes puntuales a monitorear en esta sección fueron la comprensión del estado actual de la investigación en torno al grafeno y la forma como la comunidad científica valida los nuevos conocimientos en el campo de las NC. En el primer caso, los alumnos citaron que, el valor científico del grafeno se relaciona con la caracterización de sus propiedades (dureza, conductividad, transparencia, flexibilidad, etc.), mientras lo concerniente a sus aplicaciones—sobre todo en el ramo tecnológico— correctamente las identificaron como progresiones a futuro. Estos aprendizajes los condujeron al reconocimiento de que la nanotecnología del carbono como una línea de investigación abierta y en innovación constante. Para corroborar este hallazgo, se cita la respuesta hecha al reactivo 20 por un equipo de trabajo. Dicho reactivo está relacionado con la veracidad de lo que se publica en los espacios informativos sobre el grafeno.

No es completamente cierta [la información publicada sobre el grafeno en los medios], ya que solamente están comprobadas sus propiedades físico-químicas y algunos prototipos de tecnología, lo demás es posible que se pueda desarrollar en un futuro, pero aún falta mucho por investigar y demostrar científicamente, un ejemplo sería la contaminación que nos puede provocar.

En lo que respecta a contenidos sobre NdC, las fallas detectadas se debieron al poco rigor que mostraron un par de agrupaciones al evaluar la información consultada sobre la viabilidad de las aplicaciones del grafeno, pues resultó notorio que no cuestionaron lo leído, sino que lo tomaron como cierto. En lo respectivo a la dimensión racional de la investigación en NC, la mayoría de las agrupaciones mencionó a las patentes como un vehículo que utilizan los científicos para certificar y defender su producción intelectual, en segundo lugar, citaron reuniones entre especialistas como conferencias o congresos y, en menor medida, se hizo mención a medios escritos especializados. Un resultado comprensible, pues en este nivel de estudios la consulta de fuentes de investigación formales es mínima o nula.

Una forma de corroborar que los estudiantes lograron internalizar conocimientos sobre NdC, fue la respuesta que dieron al reactivo 23— vinculado con asumir una idea general sobre la investigación científica—. Todos los equipos eligieron el inciso correcto, es decir, el que describía a la empresa científica como una actividad que construye conocimientos controvertidos, provisionales y que se validan a través del consenso de una comunidad. Para tener certeza de que su respuesta al reactivo no fue fortuita, se les pidió que argumentaran sobre la opción elegida. Se muestra una de las redacciones obtenidas.

[la ciencia es una actividad que construye conocimientos provisionales y en revisión...] ..por qué siempre se realizan nuevos experimentos y cada vez hay mayor avance en los procedimientos que se utilizan para hacerlos y estos nos dan como resultado que se modifiquen. En la ciencia nunca se puede dejar de investigar ni de experimentar porque siempre se pueden obtener mejores y nuevos resultados.

iii. Conocimientos sobre la relación Ciencia y Sociedad

En este subapartado, los estudiantes describieron aplicaciones de las NC que se proyectan como factibles en los medios de comunicación, también ingaron sobre las implicaciones y la problemática asociada al tema. La aplicación más mencionada sobre nanotubos, fue su uso potencial en la fabricación de superconductores, mientras que de los fulleros citaron la síntesis de sofisticados fármacos y la fabricación de paneles solares. En relación al grafeno, además de las postuladas en el texto trabajado en clase, se mencionó su utilización en la elaboración de artículos deportivos—como es el caso de la raqueta del tenista Novak Djokovic—, su posible uso en la elaboración de preservativos, bombillas de luz y celulares flexibles.

En cuanto a problemática asociada, coincidieron en señalar que, la principal obedece a la imposibilidad de sintetizar con calidad este tipo de materiales nanoestructurados a nivel industrial. Por su parte, las implicaciones de las NC las relacionaron con estudios sobre su efecto toxicológico en la salud humana y el medio ambiente—una línea de investigación en desarrollo—. Se citan algunas implicaciones ambientales que los estudiantes asociaron al grafeno al dar respuesta a la pregunta 21.

...el grafeno puede llegar a ser dañino para la salud. Un ejemplo es que según estudios las esquinas afiladas de este material pueden introducirse fácilmente en las membranas de las células y alterar su funcionamiento normal. En el caso del medio ambiente, se menciona en una revista que de momento se acepta que las

nanopartículas son seguras mientras están pegadas en una membrana en donde no se pueden escapar, pero una vez liberadas en el agua o en el aire es muy difícil predecir su riesgo y así ser un peligro para el medio ambiente.

En menor medida, algunas agrupaciones señalaron la probabilidad de que se susciten problemas económicos o laborales a causa de que el grafeno llegara a sustituir a materiales con fuerte peso industrial como el cobre o el silicio. Finalmente, sobre los factores sociales que dotan significado al estudio del tema, indicaron el amplio financiamiento que recibe la investigación alrededor del grafeno por parte de instituciones gubernamentales—como la Unión Europea— y el sector empresarial, la intensa competencia que ha generado dicho nanomaterial en el ramo de las patentes, así como los dos premios Nobel que se han conseguido en este campo, el de Química en 1996 y el de Física en 2010. En general, se observó un desempeño destacado en el análisis de aspectos contextuales.

5.2.3 Habilidades (destrezas alfabéticas)

Los logros conseguidos en materia de lectura, escritura e interpretación, también se situaron en un nivel intermedio. A pesar de que no se identificaron obstáculos que impidieran o minaran la interpretación de la información consultada sobre el tema, persistieron algunos problemas en el trabajo cooperativo ligadas con habilidades de redacción.

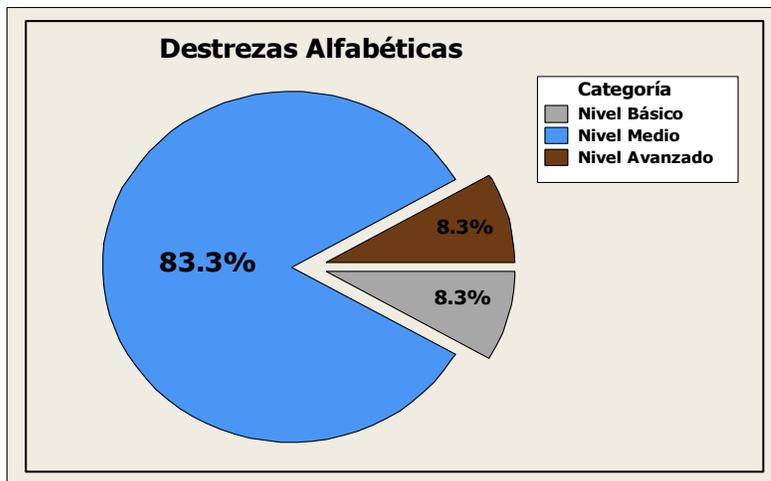


Figura 6. Desempeño observado en el rubro habilidades (n=12).

El primero de ellos, confirma lo reportado con el CRITIC y se puede constatar en las respuestas transcritas en páginas anteriores, esto es, las limitadas habilidades de redacción que imperan en este nivel educativo. El segundo, se vincula con lo poco

habitual que les resulta a los estudiantes el cuestionar en las clases de química, una tendencia que se vio reflejada por la dificultad que mostraron la mayoría de las agrupaciones para formular la pregunta solicitada en el reactivo 17 de la metodología. Este par de inconvenientes explican el aprovechamiento porcentual reportado en la figura 6.

Como cierre de lo conseguido en este eje de análisis, es pertinente destacar algunos resultados que repercutieron favorablemente en el desarrollo del PC. Se constató que gracias a impulsar aprendizajes sobre NdC, los jóvenes pudieron identificar con mayor facilidad información empírica y mostrar cierto grado de comprensión sobre su valor probatorio en el discurso comunicativo de la ciencia. Otro factor que coadyuvó al incrementó en el grado de reflexión, fue la petición de argumentos en contra del tema. Su elaboración reflejó un dominio más amplio del tema y coadyuvó a superar el sesgo lineal reportado en la fase de piloto. Como consecuencia, en el reactivo 18 donde se pedía la adopción de una posición con respecto a la conclusión que ofrecen los autores del material de lectura trabajado en clase, el total de las agrupaciones decidieron apoyarla, pero parcialmente. Un resultado que se considera favorable porque indicó cautela y rigor en la evaluación de lo leído, es decir, indicios en la consecución de un posicionamiento crítico.

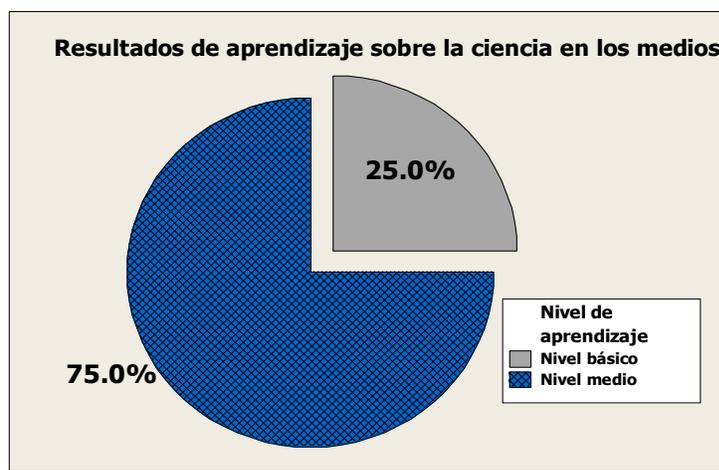
5.2.4 Conocimientos sobre ciencia en los medios

Con este dominio, se buscó que los alumnos identificarán tanto las ventajas como las limitaciones alrededor del discurso mediático sobre ciencia y tecnología e incorporarán estos aprendizajes en el proceso de análisis. Como se puede observar en la figura 7, continuó predominando un desempeño escolar moderado. Las fallas observadas en tres agrupaciones cuyo aprovechamiento fue ubicado en un nivel básico, corresponden a la limitada justificación que ofrecieron al dar solución a las actividades planteadas en este rubro (tercera sesión de la metodología).

Al examinar la objetividad del texto trabajado en clase, los doce equipos concordaron en que el texto no está equilibrado porque no refleja todos los puntos de vista que se deben considerar en el estudio del grafeno. Incluso, algunas agrupaciones lo calificaron como tendencioso por estar muy orientado en resaltar aspectos positivos sobre esta nanoestructura. A pesar de ello, en su respuesta al reactivo 26, la mayoría de los alumnos encuestados mantuvo su apoyo parcial a la publicación, pero aclarando que este recurso textual tendría una repercusión mayor

en los lectores si abordara con el mismo ímpetu controversias o asuntos delicados sobre el grafeno.

Figura 7. Resultados de aprendizaje en la categoría ciencia en los medios (n=12).



Como cualidades de los textos informales, los adolescentes explicitaron que son fáciles de comprender y despiertan el interés por la ciencia. En cuanto a limitaciones mencionaron la superficialidad con la que suelen abordar contenidos científicos, pero la más mencionada fue la subjetividad detectada en el artículo divulgativo. Es importante aclarar que, los adolescentes llegaron a estas conclusiones después de comparar el artículo divulgativo con un libro de texto de química convencional.

Como síntesis, se puede aseverar que la inclusión de este rubro en el proceso de análisis textual, además de elevar el nivel de discusión sobre el tema y fomentar prudencia en el proceso interpretativo, apoyó a crear conciencia sobre el valor que tiene generar desde la escuela una respuesta crítica a la información científica presente en los medios de comunicación.

5.2.5 Actitudes

En este perfil se obtuvieron los mejores resultados, puesto que se cubrieron satisfactoriamente la mayoría de los aprendizajes demarcados en su evaluación (figura 8). Aunque, vale señalar que son los logros menos tangibles debido a la complejidad que caracteriza a la valoración del aprendizaje actitudinal. En el MO, se invita a dar seguimiento a lo conseguido en este rubro mediante la identificación de rasgos disposicionales puntuales que exhiben los estudiantes al hacer frente a la ciencia presente en los espacios informativos —anexo 5—.

Conforme fue avanzando la estrategia de lectura, se pudo constatar el desarrollo de un escepticismo saludable (moderado o local) en el estudiantado hacia la investigación en NC, una actitud que se vio reflejada en dos resultados previamente descritos—la capacidad de reconocer la subjetividad del artículo divulgativo y la habilidad de discriminar entre la información con base científica de la especulación mediática en torno al grafeno—. Esta disposición eminentemente reflexiva contribuyó de manera importante a la búsqueda de certezas sobre el tema.

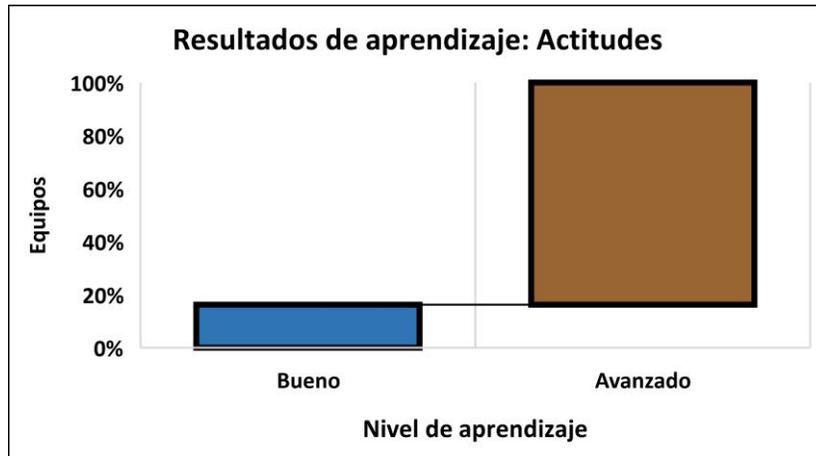


Figura 8. Resultados de aprendizaje en rubro de actitudes (n=12).

Otro rasgo actitudinal a destacar, fue el aumento progresivo en el grado de asertividad en la elaboración de argumentos. Por ejemplo, en los productos obtenidos en la tercera sesión de la metodología, los alumnos ya no se limitaron a ofrecer peticiones concretas de información, sino que incorporaron con seguridad y fundamento opiniones propias. En adición a esto, en el trabajo cooperativo se pudo observar de manera constante apertura tanto al aprendizaje del tema como a las fuentes de consulta utilizadas, respeto, tolerancia y disposición a intercambiar información e ideas con responsabilidad. Mucho ayudó a mantener un clima favorable en el aula, la supervisión de todas las actividades por dos docentes—titular y adjunto—.

Finalmente, una cuestión muy atinada que contribuyó a motivar el interés y el compromiso en la resolución de las tareas planteadas fue el uso de las TIC's. Se pudo constatar que cuando los jóvenes están frente a una computadora con acceso a internet cambian inusitada y favorablemente su disposición hacia el aprendizaje. Por lo descrito en esta sección, se puede afirmar que, lo conseguido en materia

actitudinal permitió elevar el rigor interpretativo, así como promover en los estudiantes un papel más activo y comprometido en el entendimiento del tema.

5.2.6 Evaluación de la argumentación

Como se ha reiterado en este trabajo, pensar críticamente pasa por saber argumentar. La argumentación permite hacer explícitos los constructos cognitivos y se considera una actividad abierta y reflexiva (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2012). Por tal razón, se recomienda evaluarla desde una óptica razonable, es decir, mediante la identificación de aquellas garantías que dan respaldo, fuerza y validez a la adopción de una postura o conclusión.

Tabla 3. Relación entre la rúbrica para evaluar la argumentación con la noción de PC de Paul y Elder (2006)

<i>Aptitudes argumentativas</i>	<i>Rubros a evaluar</i>	<i>Elementos del pensamiento (Paul y Elder, 2006)</i>
<i>Conocimientos</i>	a. Vocabulario	Habilidad transversal (expresar de forma correcta y clara ideas)
	b. Información disciplinar.	1. Teorías, conceptos y modelos (propiedades físico-químicas del carbono y noción de alotropía)
	c. Información contextual.	2. Implicaciones y Consecuencias (aprendizajes sobre NdC y Ciencia-Sociedad)
<i>Habilidades en la construcción de argumentos</i>	d. Postura.	3. Propósito (postura a favor o en contra de las NC)
	e. Coherencia.	4. Información (manejo de la información en torno a las NC)
	f. Justificación.	5. Supuestos ; 6. Inferencias (emisión de juicios o inferencias sustentados en razones o evidencias)
	g. Contraargumentación.	7. Puntos de vista (consideración de diferentes puntos de vista en torno a las NC)
<i>Actitudes</i>	h. Actitud Reflexiva.	8. Cuestionamientos ; 9. Metacognición (capacidad de cuestionar afirmaciones, así como de establecer acuerdos y desacuerdos sobre las NC)

Las garantías que permiten reconocer el desarrollo del pensamiento crítico mediante la argumentación, es la presencia de los ocho elementos cuya articulación se asocia con la construcción del entendimiento—propósito, conceptos, información, supuestos, implicaciones, puntos de vista, cuestionamientos e inferencias—. Es necesario agregar también, la actitud de valorar y reestructurar el pensamiento (la metacognición). Según Paul y Elder (óp. cit.), una vía para evaluar el uso que se le da a estos elementos es mediante el establecimiento de rúbricas. Razón por la cual, se diseñó un instrumento de evaluación que permitiera llevar a cabo esta labor de manera eficaz y, que fuera consistente con el trabajo metodológico realizado por los estudiantes³. En la tabla 3, se muestra los elementos del pensamiento que cubre cada apartado de la herramienta de evaluación y cómo pueden situarse en la labor metodológica reportada.

Los puntajes obtenidos por rubro, se presentan en la tabla 4. Como se puede observar, los más bajos corresponden a los rubros contraargumentación y coherencia. En el primer caso, el resultado informa 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—otro factor que contribuyó a superar el sesgo lineal reportado con el método C.R.I.T.I.C.—. Por su parte, la baja puntuación en lo relativo a coherencia se explica por una problemática que se ha mencionado en varias ocasiones en este trabajo, la escasa habilidad de redacción que exhiben los estudiantes de bachillerato.

Tabla 4. Promedio de los elementos contemplados en la evaluación de la argumentación individual (N=50).

<i>Rubros a evaluar (ensayo final)</i>	<i>Promedio (\bar{X}) y desv. estándar (σ)</i>
<i>Vocabulario</i>	2.90 ± 0.30
<i>Información disciplinar</i>	2.67 ± 0.61
<i>Información contextual</i>	3.31 ± 0.84
<i>Postura</i>	3.84 ± 0.37
<i>Coherencia</i>	2.45 ± 0.50
<i>Justificación</i>	2.94 ± 0.62
<i>Contraargumentación</i>	2.29 ± 0.45
<i>Actitud Reflexiva</i>	3.02 ± 0.72
<i>Puntuación total</i>	23.41 ± 1.73 (73.16%)

³ El instrumento para la evaluación de la argumentación individual se muestra en el anexo 5.

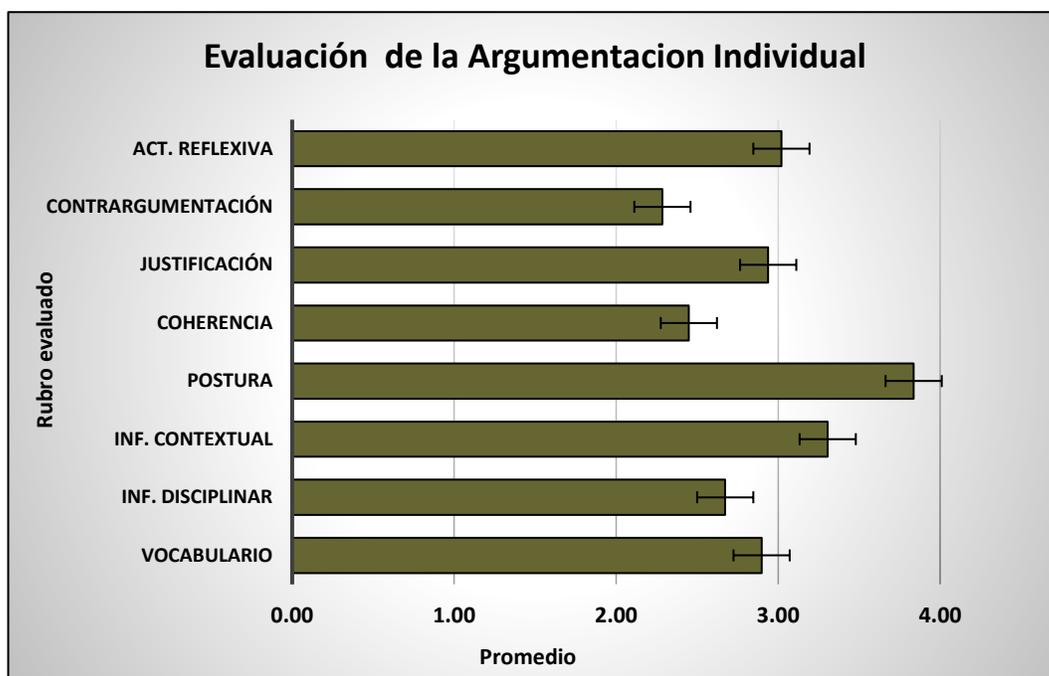


Figura 9. Promedios de los elementos evaluados en los escritos finales (N=50).

De acuerdo con la rúbrica empleada, se debía reunir un puntaje de 32 puntos para situar la argumentación en un nivel óptimo, 24 para obtener un desempeño regular y por arriba de 16 puntos para ubicarlo como suficiente. Los estudiantes alcanzaron un puntaje promedio de 23.41, un valor que indica que cubrieron alrededor del 73% de las habilidades presentes en el instrumento de evaluación, lo que permitió situar su desempeño en un nivel muy próximo al regular.

En esta segunda fase metodológica, se observó que, en los ensayos finales, la forma de exponer argumentos dejó de tener marcados tintes de pensamiento lineal, ahora resultó más claro el reconocimiento de rasgo que apuntaban hacia el logro de una interpretación más amplia y reflexiva del tema. Este avance en el desempeño argumentativo, es la consecuencia de haber diseñado una estrategia que apoyara a los estudiantes a llevar a cabo esta labor, así como otorgarle mayor importancia a la ejecución de esta habilidad en la metodología de análisis.

Finalmente, para corroborar si el desempeño individual fue consistente con la labor realizada en equipo, se cotejaron las evaluaciones obtenidas en los escritos finales. Esto, al ordenar los ensayos en la forma en que se dio el trabajo cooperativo, es decir, en doce agrupaciones y promediar las puntuaciones obtenidas en cada una de ellas. 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.

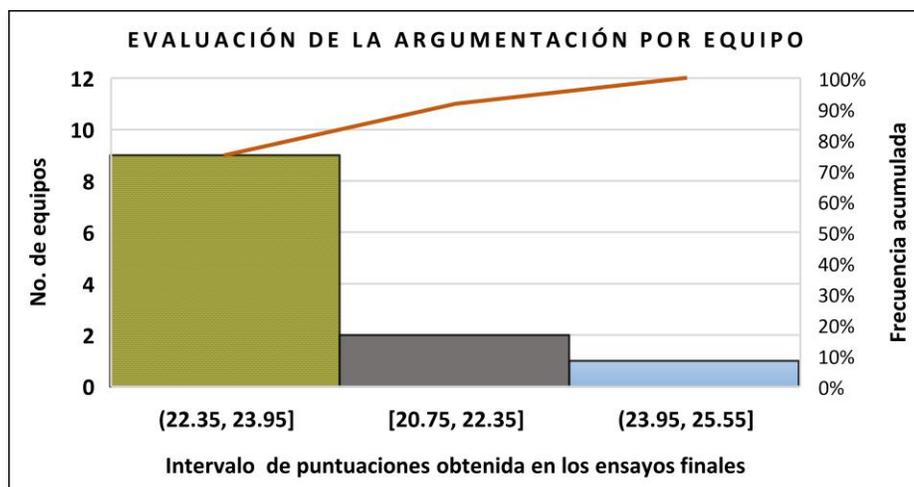


Figura 10. Resultados obtenidos al promediar los ensayos finales por equipo (n=12).

Como se puede observar en la figura 10, 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 argumentación⁴.

5.3 Discusión de los resultados

En estas páginas, se lleva a cabo un análisis de los resultados obtenidos con el propósito de mostrar los logros conseguido en materia de PC y justificar la pertinencia del trabajo metodológico efectuado. Posteriormente, se discuten las aportaciones más relevantes de esta investigación.

5.3.1 Viabilidad del trabajo realizado

Para sustentar la consecución de un posicionamiento crítico de los estudiantes frente al tema, es necesario evidenciar la relación subyacente entre el MO que sirvió como guía en el diseño de las actividades planteadas y la noción del PC de Paul y Elder. Como se ha descrito, el MO de Jarman y McClune defiende que desarrollar una respuesta crítica hacia la ciencia presente en los medios, es el resultado de la

⁴ En el anexo 6, se muestran ejemplos de la argumentación conseguida en los ensayos conclusión.

articulación coherente de una serie de aprendizajes que agrupa en cuatro dominios. Por su parte, la visión del PC asumido en este estudio está fincada en los ocho elementos descritos en la sección anterior al presentar los resultados obtenidos en argumentación.

Si se revisan con atención los indicadores de aprendizaje que dan sentido a cada perfil del MO—anexo 5—, es posible localizar en ellos de manera implícita los elementos del pensamiento que reivindican Paul y Elder en su visión de la criticidad. Así, en el primero de ellos que está centrado en aspectos disciplinares y contextuales figura el manejo de conceptos, la búsqueda de implicaciones y el reconocimiento de los supuestos que envuelve una temática en particular, en este caso el estudio de las NC. En el segundo, correspondiente a habilidades aparece lo relativo al manejo de información y la formulación de inferencia. En el tercer dominio vinculado con aprendizajes sobre la ciencia en los medios, se perfila como relevante la consideración de diferentes puntos de vista sobre un tema y promover el cuestionamiento de las afirmaciones textuales.

Este breve recuento permite mostrar cómo el MO cubre de manera subyacente los elementos que Paul y Elder asocian al PC. Ahora bien, dado que los cuatro dominios del MO no son independientes, sino que deben interrelacionarse de manera coherente para suscitar una respuesta crítica hacia la ciencia presente en los medios, se puede aseverar que el MO como la visión del PC de Paul y Elder poseen una meta epistémica en común: el entendimiento disciplinar.

El perfil de análisis que hace más evidente la cercanía entre estas dos formas de promover la enseñanza del PC, es lo relativo al aprendizaje actitudinal. Los indicadores para dar seguimiento a este tipo de aprendizajes en el MO son algunas virtudes intelectuales que son inherentes a la definición de Paul y Elder, como es el caso de la confianza en la razón, la apertura de mente y la empatía intelectual. Es importante resaltar esta fuerte conexión, ya que permite mostrar por qué en este trabajo se defiende que el MO constituye una vía más idónea y factible para promover el desarrollo del PC en las clases de química en comparación del método C.R.I.T.I.C. El MO, no reduce la enseñanza del PC al ámbito cognitivo, por el contrario, comparte la idea de Paul y Elder de que gran parte del valor epistémico que se asocia a la criticidad se manifiesta en el proceder intelectual de las personas (McClune & Jarman, 2012). Aunque reconocen lo complicada que es la evaluación del aprendizaje actitudinal, los autores del MO señalan que sin incentivar el

componente disposicional del PC en las aulas, este pierde sentido convirtiéndose en un tipo de razonamiento coherente, reflexivo o con otra denominación, pero la criticidad queda desvirtuada (óp. cit.)

Por lo expuesto con anterioridad, es claro que el MO aunque cuenta con una estructuración propia para dar cauce al análisis de la ciencia en los medios, sus objetivos son los mismos de la noción del PC asumida en este trabajo, esto es, promover el entendimiento temático soportado en la coherencia e incentivar la responsabilidad en la conducta intelectual de los estudiantes. Por tanto, se puede aseverar que, los resultados conseguidos en la propuesta metodológica reportada en esta tesis, aunque responden un esquema de trabajo independiente cubren el núcleo de capacidades que según Paul y Elder distinguen a un pensador crítico. Un hecho que se puede corroborar en los resultados reportados en materia de argumentación. En ellos, fue posible identificar que los estudiantes lograron recopilar y valorar información relevante sobre el tema, establecer acuerdos y desacuerdos, reconsiderar afirmaciones, construir una opinión informada y mantener una actitud reflexiva en su defensa. No obstante, hay que tomar en cuenta que todos estos rasgos intelectuales son de naturaleza gradual y los estudiantes mostraron un nivel medio o regular al ejercerlos—figura 11—.

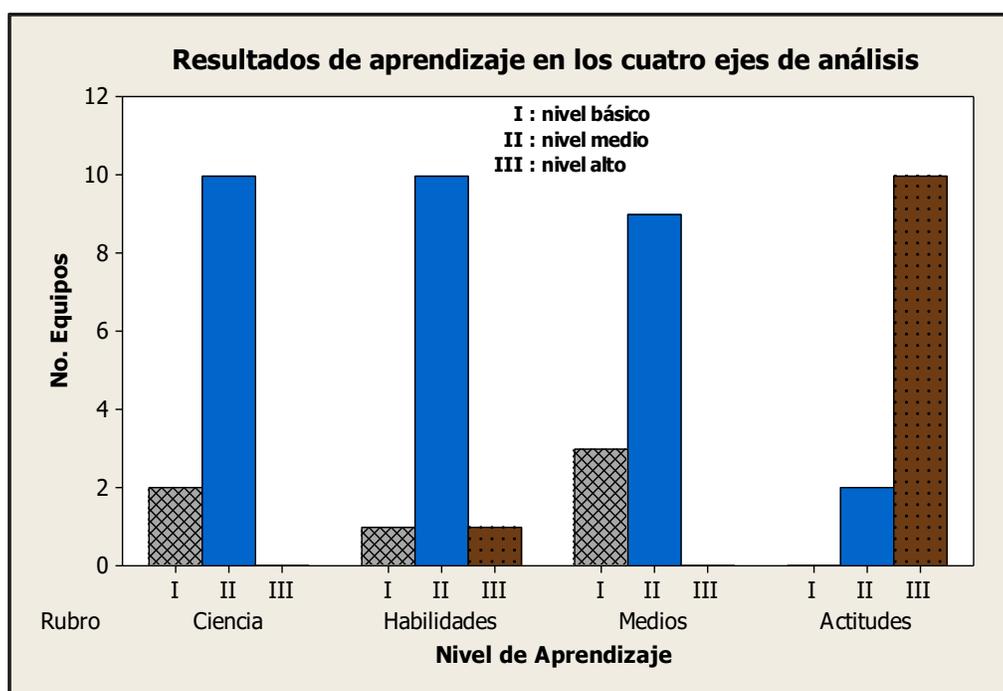


Figura 11. Niveles de aprendizaje alcanzados en los cuatro perfiles de análisis.

En este trabajo, se considera que no puede ser catalogado como un resultado negativo haber conseguido un desempeño moderado o regular en el fomento del PC. Esto, si se tiene en cuenta que en esta tesis se ha definido a este proceso epistémico como un proceso intelectual virtuoso, es decir, como una aptitud emergente, profunda y duradera cuyo éxito depende en gran medida de la experiencia. Por el contrario, resulta muy arriesgado sostener que, con una intervención didáctica de ocho horas durante un semestre, se puede transformar la manera de pensar y la forma de trabajo intelectual de los estudiantes. Para obtener resultados que puedan ser situados en un desempeño alto, se necesita emprender este tipo de estrategias de manera continua en el trabajo escolar y en diferentes asignaturas.

El pensamiento crítico es un constructo cimentado en una formación en virtudes, por tal, su adquisición requiere de tiempo. Para salvar esta situación, algunos autores proponen su incorporación como un elemento transversal en los programas de estudio (McClune y Jarman, 2010; Paul y Elder, 2007; Facione; 2007). Pero, para que este planteamiento cobre fuerza es necesario ofrecer más y mejores prácticas, así como generar apertura tanto de los docentes como de las autoridades educativas en promover su enseñanza. Una cuestión que está sucediendo en las reformas educativas actuales.

Retomando la revisión de los resultados, se sostiene que son tres las razones que permiten defender el trabajo metodológico efectuado. La primera de ellas tiene que ver con los buenos resultados conseguidos en el ámbito actitudinal. Se pudo comprobar que, cuando se le otorga la debida atención a este tipo de aprendizajes, los jóvenes se involucran con mayor espontaneidad, ahínco y asertividad en los debates o escenarios de deliberación planteados en las aulas. Un hecho a destacar, fue la sólida defensa que hicieron del tema dos agrupaciones de la muestra de estudiantes que participó en un pequeño congreso estudiantil local.

Tomando en cuenta lo anterior, se puede afirmar que, al impulsar en las clases de ciencias, virtudes como apertura de mente, confianza en la razón, tolerancia, compromiso y gusto por comunicar ideas de manera fundamentada, no solamente se está enriqueciendo la formación propedéutica del estudiantado, sino también, se está contribuyendo a dar cumplimiento a un ideal importante de la educación contemporánea, la participación intelectual responsable.



Figura 12. Izquierda, estudiantes de la ENCCH-Sur durante las actividades dialógicas efectuadas en pequeños grupos. Derecha, alumnas que defendieron el tema en un pequeño congreso estudiantil.

La segunda cuestión a resaltar, es la estrategia que se siguió para dar cauce y monitorear la argumentación. Una actividad que reforzó el dominio conceptual del tema y contribuyó de manera importante al reconocimiento de elementos de pensamiento crítico. La argumentación es una facultad imbricada con el PC, no puede defenderse el desarrollo de la criticidad si se pasa por alto el ejercicio de argumentar. Se considera que lo realizado al respecto, puede dar lugar a estrategias de argumentación más sólidas, así como a la elaboración de instrumentos de evaluación más efectivos alrededor de este binomio. Por ejemplo, se puede dirigir el trabajo filosófico en la indagación de los nexos existentes entre la acepción analítica del PC con el método argumentativo de Toulmin o con la escuela de Bruselas centrada en la retórica dando lugar a trabajos, así como reflexiones más amplias sobre la relación pensamiento crítico y argumentación.

Finalmente, el tercer elemento que respalda el valor metodológico de este trabajo, es la originalidad de las actividades implementadas en la estrategia de análisis textual propuesta. Pues si bien, en ella se siguió el MO de Jarman y McClune para cubrir un nicho de aprendizajes, los reactivos, la secuencia, así como el sentido de las tareas fueron el resultado de un proceso de planificación y elaboración propia, el cual puede servir como base en la elaboración de secuencias de lectura más favorables no solamente en las clases de química sino en las diferentes asignaturas científicas presentes en el bachillerato. Lo cierto es que, la labor de campo reportada en esta investigación hace constar que el análisis crítico de la ciencia que se comunica en los medios en el contexto escolar es una labor amplia, demandante y compleja.

5.3.2 Contribuciones a la educación química preuniversitaria

Ante la imposibilidad de arribar a resultados que puedan ser situados en niveles avanzados en el desarrollo del PC, resulta crucial discutir cuales son las contribuciones de esta investigación. Se considera que, este trabajo en general propone una ruta alternativa para abordar temáticas científicas novedosas que gozan de una amplia relevancia tecnológica y social en las clases de química, la cual de ser perfeccionada puede fungir como una guía importante en la enseñanza del PC. También, constituye una estrategia metodológica que da cuenta del valor que poseen los recursos textuales provenientes de la comunicación pública de la ciencia al referenciar el acontecer científico en las aulas.

De manera puntual, las contribuciones más significativas que se deprenden de este estudio al campo de la educación química en el bachillerato son el marco de referencia trazado para promover el PC, la temática disciplinar abordada —pues, aunque la propuesta puede ser aplicable a diversos temas, el tratamiento de la nanotecnología del carbono robustece la enseñanza de la química— y, las implicaciones del trabajo realizado en la formación de una cultura científica.

En el primer caso, es muy importante que los docentes dominen aspectos fundamentales sobre la noción del PC, es decir, que tengan claro cuál es su función de lo contrario todo intento en su enseñanza fracasara. Como se ha narrado la poca promoción del PC en los salones de clases, se debe a que los profesores y gestores educativos suelen eludirlo principalmente por falta de formación. La caracterización epistémica que se ofrece del PC en el segundo capítulo de esta tesis, puede contribuir a revertir esta situación en la medida que cubre los tres rubros de aprendizaje que históricamente le han dado rumbo a la educación: conceptos, habilidades y actitudes. Lo que hace de esta visión, una cuestión pertinente de incorporar en la formación docente.

El PC es un proceso epistémico que potencia el entendimiento disciplinar y la responsabilidad en el desempeño intelectual. Los docentes deben conocer lo que distingue a estas dos aptitudes del aprendizaje que se promueve tradicionalmente en las clases de química, como incentivarlas y su trascendencia más allá del ámbito escolar. El análisis en torno al PC realizado en esta tesis, es un paso adelante en esa dirección. Particularmente, es de destacar la noción de responsabilidad epistémica porque puede ser vista como una brújula para demarcar el rumbo que debe tomar

tanto el impulso como el reconocimiento del aprendizaje actitudinal en la educación científica, un área donde aún hay mucho por cubrir para conseguir su sistematización.

En lo referente a la temática disciplinar presente este estudio, el haber comunicado generalidades sobre el campo de la nanotecnología del carbono permitió que los estudiantes identificarán como la investigación en torno a este elemento ha evolucionado, haciéndose más amplia y compleja. Por ejemplo, al investigar y contrastar información sobre el tema, pudieron darse cuenta del importante rol que tiene el uso de instrumentos tecnológicos de vanguardia (microscopía electrónica) al caracterizar las propiedades del carbono en la escala nano. También que, este tipo de estudios no son exclusivos de la química, convergen en ellos la física, la ciencia e ingeniería de materiales e inclusive la medicina. Resultó crucial que, los alumnos mostraran comprensión de la naturaleza multidisciplinar de la investigación nano, pues es una característica muy distintiva no solamente de este campo de conocimientos sino de la ciencia contemporánea.

Por otro lado, gracias a mostrar la relación ciencia, tecnología, sociedad y ambiente (CTS-A) en la comunicación del tema— segunda y tercera sesión de la metodología—, los alumnos pudieron indagar sobre la conexión existente entre las insólitas propiedades que exhibe el carbono en la escala nano (dureza, resistencia, conductividad, transparencia, etc.) con el diseño y fabricación de nuevos productos tecnológicos. Un aspecto que provocó gran interés en los estudiantes, es el potencial que algunos autores sostienen poseen las NC para revolucionar el campo de la electrónica (Murray, 2012; Takeuchi, 2011). Una afirmación que los llevó a investigar sobre los obstáculos disciplinares y tecnológicos a superar para que esta proyección se convierta en una realidad. En lo relativo a lo social, se analizó el financiamiento que recibe esta línea de investigación como parte de la justificación de su relevancia y la guerra de patentes que existe sobre el grafeno, la cual rebasa—por los intereses que están en juego— el ámbito de lo científico. Finalmente, en el rubro ambiental, los adolescentes referenciaron por lo menos una aplicación de cada nanoestructura en estudio, la cual se estima puede contribuir a revertir el daño que padece el planeta. Gracias a ello, se generó conciencia sobre el importante rol que juega la dimensión sustentable⁵ en la actividad científica hoy en día.

⁵ Se entiende por sustentabilidad a una visión de desarrollo humano que tiene como meta satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin poner en peligro los recursos y oportunidades que garanticen la

Considerar el enfoque CTS-A en la metodología de análisis textual, permitió ofrecer una imagen de la química del carbono como un área de conocimientos confiable en la resolución efectiva de problemas. Cuando se muestra la relevancia que tiene la química en el mundo, se contribuye a mejorar su imagen pública⁶ (Chamizo, 2011). Una tarea que es ampliamente compartida por investigadores, educadores y divulgadores cuyo ejercicio profesional está relacionado con esta apasionante disciplina (NAS, 2016). Por lo anterior, se puede aseverar que, mejorar la imagen de la química en la educación científica escolar contribuye a que los jóvenes se valgan de ella con mayor confianza al tomar decisiones en su vida cotidiana, en la comprensión más profunda de su entorno, así como para el empoderamiento personal y colectivo.

Otro aspecto a resaltar sobre el tratamiento de la nanotecnología del carbono en las clases de química, es que invita a los docentes a reenfocar su perspectiva de la enseñanza de esta disciplina y, con ello, a otorgar mayor importancia al estudio de contenidos que guardan relación con la estructura de la materia. Un hecho que, rompe con la cuestionable visión —pero tan arraigada en el bachillerato— de orientar el aprendizaje de la química en un enfoque macroscópico, en donde a lo más, se utilizan modelos clásicos formulados en el siglo XIX para hacer referencia al mundo de los átomos y las moléculas. En el estudio de la nanotecnología resulta sustancial evidenciar la conexión existente entre las propiedades de los nuevos materiales con su tamaño, es decir, referenciar en el salón de clases aspectos relacionados con el mundo cuántico.

Llevar a cabo lo anterior, no solamente contribuye a que los estudiantes 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 torales en la enseñanza de nuestra disciplina, como es el caso del enlace químico y la geometría molecular (Meinguer, 2011). En síntesis, el abordaje de la nanotecnología en la educación química preuniversitaria posibilita referenciar investigaciones y productos tecnológicos de vanguardia, hacer evidente su dimensión sustentable, mostrar la relevancia de esta ciencia en el escenario social y promover la reflexión en la práctica docente.

prosperidad de generaciones futuras. En una noción que busca la armonía entre el bienestar humano y la preservación de un medio ambiente de calidad (Warburton, 2003).

⁶ Noción abordada en el primer capítulo de esta tesis.

La última aportación de esta tesis, se relaciona con la formación de una cultura científica, una finalidad que como se ha expuesto tiene su origen en el campo de la comunicación de la ciencia, pero que desde hace algunos años ha cobrado fuerza en la educación científica formal (Pardo, óp. cit.). De acuerdo a los esbozado en el segundo capítulo de esta tesis, cuando se hace uso del conocimiento científico para comprender dinámicas sociales, problemas socioambientales, innovaciones tecnológicas, tomar decisiones o armonizar la vida social, se está dando cumplimiento al paradigma de cultura científica. Se piensa que este trabajo está inscrito en esta visión por la importancia que se le dio al aprendizaje contextual del tema, las habilidades desarrolladas en su interpretación, así como por los hábitos o cualidades disposicionales identificadas en su discusión e internalización.

Para desarrollar elementos de PC hacia la nanotecnología del carbono, era necesario contar con textos que ofrecieran una visión contextualizada del tema, ya que como se ha señalado es el contexto el que dota de sentido al aprendizaje de los contenidos científicos. En el caso de este estudio, su revisión favoreció que los jóvenes establecieran relaciones explicativas basadas en la coherencia, así como la formulación de inferencias apoyadas en razones, es decir, permitió construir un entendimiento reflexivo del tema. Los materiales de lectura utilizados—artículos divulgativos y textos periodísticos— resultaron apropiados y convenientes para brindar una perspectiva contextualizada del tema. Gracias a ello, fue posible la consecución de aprendizajes significativos.

En lo concerniente a habilidades, el desarrollo del PC dota a los estudiantes de un núcleo de capacidades para interpretar con cierto rigor y sistematicidad el discurso mediático sobre ciencia y tecnología, tales como cuestionar, contrastar, valorar, discernir y argumentar. Todas ellas, altamente beneficiosas porque favorecen la construcción de opiniones informadas y pueden ser transferibles a otras áreas de conocimiento o escenarios de la vida social, convirtiéndose en un detonador que permita a los jóvenes discutir con racionalidad, autonomía y espíritu crítico temas de interés público dentro de su comunidad.

Otro resultado favorable que se desprende de impulsar el PC hacia la ciencia presente en los medios, es que potencia la formación de una serie de cualidades disposicionales que enriquecen el accionar intelectual de las personas y son inherentes a la participación, un ideal inscrito en el giro ciudadano que moldea actualmente al discurso educativo. La participación social informada es vista en la

literatura como un conjunto de mecanismos basados en la interdependencia cognitiva y la deliberación colectiva que tienen como finalidad el ejercicio de la ciudadanía⁷. Al fincar relaciones basadas en la horizontalidad (la acción de los unos sobre los otros), la participación requiere de una ética para regular su funcionamiento en la sociedad. El pensamiento crítico puede contribuir mucho a este respecto, al guiar y enmarcar el proceder intelectual de las personas en la responsabilidad, un comportamiento que puede ser caracterizado por las disposiciones que exhibe un individuo al llevar a cabo una tarea de corte epistémico. Como se ha reiterado, el conjunto de hábitos intelectuales propios de la criticidad se puede agrupar bajo la noción de responsabilidad epistémica, un concepto cuyo valor estriba en que permite acentuar la naturaleza activa y la autonomía de un sujeto frente al conocimiento, así como dotar de sentido a procesos deliberativos encaminados a la toma de decisiones.

En congruencia con lo anterior, resulta clave para analizar fuentes científicas informales el diseño de estrategias de análisis textual donde permee la interacción, el dialogo, la pluralidad, la cooperación y la tolerancia, pues este tipo de escenarios pedagógicos resultan muy favorables para estimular y orientar el comportamiento intelectual que se espera los alumnos pongan en marcha al involucrarse de forma autónoma en la discusión de temas científicos fuera de las aulas.

Por lo expuesto con anterioridad, es posible aseverar que, desarrollar una respuesta crítica hacia las NC mediante el análisis de textos informales, fue una labor que hizo posible que los estudiantes construyeran aprendizajes significativos que ampliaran su comprensión del entorno científico y tecnológico actual, que adquirieran habilidades que los capacitan tanto en el manejo de información como en el trabajo intelectual autónomo, así como disposiciones para la participación intelectual responsable. Todos ellos, logros que sustentan la formación de una cultura científica.

Hay todavía cuestiones metodológicas por cubrir y aspectos institucionales que deben cambiar, para que el análisis crítico de la ciencia en los medios goce de mayor reconocimiento en el contexto escolar. Por ejemplo, como se mencionó en páginas anteriores, es necesario desarrollar estudios más amplios sobre la relación

⁷ La noción de ciudadanía en la actualidad no se reduce a su clásica acepción de habitar en la ciudad, sino que va más allá y remite a capacidades para ejercer derechos y aceptar obligaciones dentro del marco de una vida en democracia (Gadotti, 2013).

pensamiento crítico y argumentación, pues ello conducirá a la elaboración de estrategias e instrumentos de evaluación más sólidos que incrementarían los resultados que se pueden conseguir en materia de PC. También, enriquecerían una discusión filosófica—actualmente abierta— sobre el valor que posee la lógica informal y cómo enseñarla.

Es necesario también, ocuparse en la consecución de una plataforma más rigurosa para evaluar el aprendizaje actitudinal. El desarrollo y reconocimiento de hábitos puntuales que contribuyan a la entereza intelectual de las personas es una contribución valiosa del PC a la educación, pero se necesitan más elementos para justificar tanto su promoción como su relevancia en el debate social sobre ciencia y tecnología. Asimismo, por la amplitud como por la diversidad de contenidos implicados en la interpretación del discurso mediático sobre ciencia y tecnología, es crucial pugnar por el trabajo interdisciplinario—la colaboración de académicos de diferentes disciplinas— en el diseño de estrategias, formación docente y foros de discusión, pues ello contribuiría a que esta ruta de investigación cobre más fuerza y ofrezca mejores resultados.

Para el logro de lo anterior, se requiere un cambio de rumbo en el sistema educativo y de la forma de percibir a la educación científica. Actualmente, los programas de estudio de las asignaturas científicas siguen priorizando la exposición de una gran cantidad de contenidos, lo que imposibilita a los docentes mostrar apertura a la realización de estrategias como la que se propone en esta investigación y capacitarse al respecto. Afortunadamente, en el mundo (y nuestro país no es la excepción) este cambio en la educación está sucediendo. Ahora, existe el reconocimiento en varios sectores—político, institucional y social—de que la educación debe centrarse en el pensamiento, la reflexión y la participación. Un hecho que dota de validez a lo realizado en esta tesis. Es por ello que, en este trabajo se invita a los docentes a repensar el valor y el significado que tiene nuestra práctica docente, a considerar la necesidad de impulsar una educación científica que vaya más allá de proporcionar en las aulas competencias prácticas o destrezas conceptuales. Hoy más que nunca, es imprescindible pugnar por estrategias de enseñanza donde el pensar y el participar ocupen un lugar privilegiado, es decir, en rutas de construcción de aprendizajes apoyadas constantemente por el hábito filosófico de la reflexión, el desarrollo del PC contribuye a este respecto.

Impulsar en las clases de química el PC hacia el acontecer científico, es una aportación importante porque además de potenciar una visión más profunda del mundo, sus problemas y posibles soluciones, representa una estrategia pertinente para mostrar lo oportuno que es promover una educación basada en el diálogo, la cooperación, el respeto, la tolerancia y la responsabilidad.

Educar en pro de una ciudadanía crítica y global significa formar personas capaces de vivir en el cambio utilizando los instrumentos de la cultura, es promover una actitud de apertura y no de cerrazón, es incentivar el cuestionamiento y, a la vez, la aceptación de aquello que se juzgue como relevante, es combatir la uniformización y admitir la diferencia—condición necesaria para que se suscite la genuina colaboración—. En consecuencia, pugnar por una escuela crítica, es reconocer que ésta debe proyectar una nueva y mejor imagen del tejido social.

Hoy en día, se aprende en muchos lugares, con la familia, los amigos, en los centros recreativos, en las calles, en el espacio laboral, en los medios de comunicación. Pero la escuela es una institución que debe dar cumplimiento a una tarea especializada que le es propia y no puede ser sustituida o remplazada por otra instancia: la de aprender a pensar en una ética basada en la crítica y la responsabilidad.

CONCLUSIONES

Hoy en día, la calidad de la información que recibimos y consultamos influye de manera notable en el proceso de toma de decisiones como en nuestra forma de vida. Es por eso que, 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.

Específicamente, en el ámbito de la educación científica a pesar de los exhortos para que los nuevos programas de estudio y de formación docente ayuden a los estudiantes a generar una respuesta crítica hacia el discurso mediático sobre ciencia y tecnología, en realidad existen pocos trabajos acerca de cómo conseguir esta meta. Por ejemplo, se sabe que buena parte del cuerpo docente de las instituciones educativas siguen enseñando los contenidos científicos bajo esquemas cerrados y tradicionales donde no figura el uso de los medios o se les concede mínima importancia. También que, el pensamiento crítico es una noción que genera confusión en el ámbito escolar, debido a que se le reconoce como un elemento discursivo y no como un objetivo tangible producto de la enseñanza.

Esta investigación ha tenido como objetivo contribuir a revertir la problemática antes descrita. Para ello, se trazó una ruta metodológica, la cual permitiera desde ofrecer una perspectiva del pensamiento crítico que fuera consistente con los requerimientos epistemológicos que demanda la comunicación de la ciencia en el ámbito escolar hasta la realización de un trabajo de campo centrado en el análisis de la información científica que circula en los medios para incentivar su desarrollo, reconocimiento y evaluación. El tema disciplinar que guió esta investigación fue la nanotecnología del carbono, un área de investigación de frontera con fuertes implicaciones tecnológicas y sociales que, al estar centrada en uno de los elementos químicos más representativos, su comunicación resulta pertinente en la enseñanza de esta disciplina en el nivel medio superior.

De la labor efectuada, se obtuvieron dos contribuciones que abren camino para que esta ruta alternativa de aprendizaje se consolide. La primera de ellas, es el marco

filosófico propuesto para el impulso del pensamiento crítico en las clases de ciencia, el cual es el resultado de enmarcar este proceso intelectual en la teoría epistemológica de virtudes. Una caracterización que resulta apropiada porque además de enriquecer el análisis conceptual del término, puede contribuir a dar cauce a la denominada educación ciudadana, ya que, orienta los logros que se desprenden de la criticidad hacia el entendimiento reflexivo y la participación intelectual responsable.

La segunda contribución importante, es la metodología de análisis textual que se ha planteado en esta tesis. Esta propuesta, se distingue de otros métodos presentes en la literatura por su amplitud, pues cubre la mayoría de los aprendizajes necesarios para suscitar una respuesta crítica hacia la ciencia que se comunica en los medios. Pero, se sostiene que su rasgo más original es la importancia y la estrategia que se siguió en ella tanto en el impulso como en la evaluación de la argumentación. De hecho, los resultados conseguidos en este rubro son en gran medida los que permiten defender el logro de un posicionamiento crítico sobre el tema.

A pesar de la amplia y estructurada propuesta metodológica reportada en esta investigación, se consiguieron resultados moderados en materia de PC. Un hallazgo que no puede catalogarse como adverso, pues el pensamiento crítico al ser una aptitud emergente y progresiva que se fundamenta en una formación basada en virtudes, su adquisición requiere de tiempo, experiencia y trabajo continuo. No obstante, lo realizado en este trabajo doctoral representa una fuente de consulta útil para los académicos interesados en profundizar sobre el tema, así como una guía que puede apoyar la consecución de prácticas favorables y diversas en esta área.

Finalmente, se considera que promover el PC hacia el discurso mediático sobre ciencia y tecnología es una tarea altamente beneficiosa en el contexto de la educación química preuniversitaria, porque además de ser una vía que permite comunicar temáticas de frontera con alta relevancia social, provee a los estudiantes de aptitudes que robustece su desempeño intelectual tanto dentro como fuera de las aulas. Pero, más allá de este pragmatismo, puede resultar una estrategia efectiva para generar curiosidad y actitudes positivas hacia la ciencia, para mostrar su relevancia en el mundo, así como para incentivar la participación informada en procesos de diálogo social. Por lo tanto, se puede afirmar que, es una estrategia que reúne las condiciones necesarias para fomentar una cultura científica.

BIBLIOGRAFÍA

Aikenhead, G. 2010. Educación Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS): una buena idea como quiera que se le llame, *Educación Química*, 16 (2), 114-124.

Albornoz, M. 2010. La política científica y tecnológica como instrumento para el fomento de la cohesión social en Iberoamérica, en: *Encuentro Iberoamericano sobre Ciencia y Tecnología para el Desarrollo y la Cohesión Social en la Sociedad del Conocimiento*. Disponible en: <http://www.oei.es/historico/noticias/spip.php?article1266>

Alcibar, M. 2004. La divulgación mediática de la ciencia y la tecnología como recontextualización discursiva, *Análisi*, No. 31, 43-70.

Alvarado, P. 2014. El desarrollo del pensamiento crítico: una necesidad en la formación de los estudiantes universitarios, *DIDAC* (nueva época), núm. 64, p. 14.

Asensio, J. 2004. *Una educación para el diálogo*, Barcelona, Paidós.

Aubert, A., Duque, E., Fisas, M., y Valls, R. 2004. *Dialogar y transformar: Pedagogía crítica del siglo XXI*, Grao, Barcelona.

Bachelard, G. 2000. *La formación del espíritu científico*. Siglo XXI.

Bartz, W.R. 2002. Teaching Skepticism via the CRITIC Acronym and the Skeptical Inquirer, *the Skeptical Inquirer*, vol. 26(5), 42-44.

Bernabeu, N., Esteban, N., Gallegos L. y Rosales, A. 2011. Alfabetización mediática y competencias básicas. *Proyecto Mediascopio: la lectura de la prensa escrita en el aula*, Ministerio de Educación Cultura y Deporte, España.

Beuchot, M. 2012. *Pedagogía y Analogía: temas de filosofía de la educación desde la hermenéutica analógica*, De la Vega editores, México.

Black, M., & Bewley, J. D. 1952. *Critical thinking; an introduction to logic and scientific method*, Prentice-Hall.

Blanco, A. 2004. Relaciones entre la educación científica y la divulgación de la ciencia, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencia*, vol. 1 (2), 70-86.

Blasco, J. y Grimaltos, T. 2004. *Teoría del conocimiento*. Universitat de València.

Boisvert, J. 2004. *La formación del pensamiento crítico*, FCE, México.

- Bonazzi, M., Von Bose, H. & Tokamanis, C. 2010. *Communicating Nanotechnology: Why, to whom, saying what and how?*, European Commission, Bruselas. Disponible en: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/communicatingnanotechnology_en.pdf
- Bonfil, M. 2002. Los derechos del divulgador, en Tonda, J., Sánchez, A. y Chávez, N. (coords.), *Antología de la Divulgación de la Ciencia en México*, 38-44, DGDC-UNAM, México.
- Burns, T., O'Connor, D., & Stocklmayer, S. 2003. Science communication: a contemporary definition. *Public understanding of science*, 12(2), 183-202.
- Cabero, J. 2015. Reflexiones educativas sobre las tecnologías de la información y la comunicación (TIC). *Tecnología, Ciencia y Educación.*, 1, 19-27
- Calvo, M. 2003. *Divulgación y periodismo científico: entre la claridad y la exactitud*, colección divulgación para divulgadores, DGDC-UNAM, México.
- Cassany, D. 2010. Diez claves para enseñar a interpretar, en Ministerio de Educación, *Leer para aprender. Leer en la era digital*, 48-53, España.
- Cedillo, Y., Macías, R., y Segura, F. 2012. La evaluación de la competencia argumentativa en foros de discusión en línea a través de rúbricas. *Revista Innovación Educativa*, 12(60), 17-40.
- Chamizo, J. 2011. La imagen pública de la química, *Educación Química*, 22(4), 320-331.
- Chevallard, Y. 1991. La transposición didáctica, *Del saber sabio al saber enseñado*, 45-47.
- Code, L. 1987. *Epistemic Responsibility*, Hanover: University Press of New England.
- Code, L., 2011. Responsabilismo, traducido en Valdés, M. y Fernández, M., *Normas, Virtudes y Valores Epistémicos*, 279-298, IIF-UNAM.
- Codina, L. 2000. Evaluación de recursos digitales en línea: conceptos, indicadores y métodos. *Revista española de documentación científica*, 23(1), 9-44.
- De la Fuente, J., y Justicia, F. 2003. Regulación de la enseñanza para la autorregulación del aprendizaje en la Universidad. *Aula abierta*, (82), 161-172.
- De la Peña, J. 2005. La percepción pública de la ciencia en México, *Ciencias*, No. 78, 31-36.
- Delgado, G. 2008. *Guerra por lo invisible. Negocio, implicaciones y riesgos de la nanotecnología*, CEIICH-UNAM, México.
- De Vega, M. 1990. *Introducción a la psicología cognitiva*, Alianza, Madrid.

- Díaz-Barriga, F. 2001. Habilidades de pensamiento crítico sobre contenidos históricos en alumnos de bachillerato, *Revista mexicana de investigación educativa*, 6(13), 525-554.
- Díaz-Barriga, F., y Hernández, G. 2002. *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista*, McGraw Hill (2ª edición), México.
- Ennis, R.1985. A Logical Basis for Measuring Critical Thinking Skills, *Educational leadership*, 43(2), 44-48.
- Escobar, N. 2011. La mediación del aprendizaje en la escuela, *Acción Pedagógica*, 20(1), 58-73.
- Estrada, L. 2004. *La divulgación de la ciencia: ¿educación, apostolado o...?*, DGDC-UNAM, México.
- Estrada, L. 2014. La comunicación de la ciencia, *Revista Digital Universitaria* [en línea], 15 (3), disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.15/num3/art18/index.html>
- Facione, P. 2007. Critical thinking: What it is and why it counts, *Insight Assessment*, 1-23, retrieved in: https://www.nyack.edu/files/CT_What_Why_2013.pdf
- Fayard, P. 2004. *La comunicación pública de la ciencia*, colección: divulgación para divulgadores, DGDC-UNAM, México.
- Fernández, M., 2011. Introducción (Parte I: valores epistémicos) en *Normas, Virtudes y Valores Epistémicos*, Valdés, M., y Fernández, M. (comp.), IIF-UNAM, México.
- Feuer, J., Towne, L., & Shavelson, R. 2002. Scientific culture and educational research, *Educational researcher*, 31(8), 4-14.
- Freire, P. 2005. *Pedagogía del oprimido*. Siglo XXI.
- 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.
- Gaeta, M., Teruel, M., y Orejudo, S. 2012. Aspectos motivacionales, volitivos y metacognitivos del aprendizaje autorregulado. *Electronic Journal of Research*, 10 (1), 73-94.
- Gadotti, M. 2013. *Escuela y ciudadanía*, Octaedro, Barcelona.
- Garritz, A. 2010. La enseñanza de la química para la sociedad del siglo XXI caracterizada por la incertidumbre, *Educación Química*, 21 (1), 2-15.

- Gasque, L. 2001. Carbono un elemento con múltiples propiedades, *¿cómo ves?*, 3(28), 16-19.
- Glazman, R. 2007. Capacidad crítica, el dilema ético del docente que promueve la crítica y el diálogo, memorias de congreso *COMIE*. Disponible en: <http://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v09/ponencias/at08/PRE1178582095.pdf>
- Goncalves, R. 2010 Una evaluación preliminar de la lectura de textos de ciencias de diferentes géneros, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, vol. 9 (2), 376-395.
- Gordillo, M., y Osorio, C. 2003. Educar para participar en ciencia y tecnología. Un proyecto para la difusión de la cultura científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, (32), 165-210.
- Gordillo, M. 2005. Cultura científica y participación ciudadana: materiales para la educación CTS, *Revista iberoamericana de ciencia tecnología y sociedad*, 2(6), 123-135.
- Gúzman, F. 2013. Avances teóricos relacionados con la captura de contaminantes, *gaceta-UNAM*, No. 4561, 9/noviembre/2013.
- Guzmán, R., y Sánchez, P. 2008. Efectos del entrenamiento de profesores en el pensamiento crítico en estudiantes universitarios, *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 38 (3-4), 189-199.
- Halkia, Kr., & Mantzouridis, D. 2005. Students' views and attitudes towards the communication code used in press articles about science, *International Journal of Science Education*, 27(12), 1395–1411.
- Herrera, A. 2008. La situación de la enseñanza del pensamiento crítico. Pasado, presente y futuro de la enseñanza del pensamiento crítico en México, *Razón comunicada V/ Ergo* (Nueva época), 15-50.
- Hutton, N. 1996. Interactions between the formal UK school science curriculum and the public understanding of science, *Public Understanding of Science*, 5(1), 41-53.
- Ibarra R, L. R. 2013. Educar, dialogar y pensar, *Perfiles educativos*, 35(141), 167-185.
- Janik, A. y Toulmin, S. 2001. *La Viena de Wittgenstein*. Madrid: Taurus
- Jarman, R., & McClune, B. 2002. A survey of the use of newspapers in science instruction by secondary teachers in Northern Ireland. *International Journal of Science Education*, 24(10), 997-1020.

Jarman, R., & McClune, B. 2011. *El desarrollo del alfabetismo científico. El uso de los media en el aula*. Ministerio de Educación de España, Madrid.

Jiménez-Aleixandre, M. , & Puig, B. 2012. Argumentation, evidence evaluation and critical thinking. In *Second international handbook of science education* , pp. 1001-1015, Springer Netherlands.

Johnson, R. 1992. The problem of defining critical thinking. In Norris, S. (ed.), *The Generalizability of critical thinking: Multiple perspectives of an educational ideas*. New York: Teachers Collage Press.

Kant, I. 2002. *Crítica de la razón pura*, Tecnos, Madrid.

Kind, V. 2004. *Beyond Appearances: Students' misconceptions about basic chemical ideas* (2nd Ed.), London: Royal Society of Chemistry

Kleike, J. 2009. *National Nanotechnology Initiative: Assessment and Recommendations*, Nova Science Pub. Inc., Nueva York.

Krug, H., & Wick, P. 2011. Nanotoxicology: an interdisciplinary challenge, *Angewandte Chemie International Edition*, 50(6), 1260-1278.

Kvanvig, J. 2003. *The value of knowledge and the pursuit of understanding*. Cambridge University Press.

Lipman, M. 1991. *Thinking in Education*, Cambridge University Press, USA.

Lluch, G. 2010. Diez consejos para seleccionar lecturas. Educación Secundaria Obligatoria, en Ministerio de Educación (comp.), *Leer para aprender, Leer en la era digital*, 54-64, España.

López, C. 2004. La comunicación de la ciencia, revisitada, en Estrada, L. (coord.), *La divulgación de la ciencia: ¿educación, apostolado o...?* cuadernos de divulgación para divulgadores, DGDC-UNAM, México, 18-25.

López, C. 2002. Fronteras sobre el lenguaje común y el lenguaje científico, en Tonda, J., Sánchez, A. y Chávez, N. (coords.), *Antología de la Divulgación de la Ciencia en México*, 262-267, DGDC-UNAM, México.

López, G. 2012. Pensamiento crítico en el aula. *Docencia e Investigación*, 37 (22), 41-60.

Marbá, A., Márquez, C., y Sanmartí, N. 2009. ¿Qué implica leer en clase de ciencias?, *Alambique*, N° 59, 102-111.

- Marinkovich, J. 2006 El modo de organización argumentativo en textos de divulgación biogenética en la prensa escrita chilena, *Revista Signos*, 39 (62), 427-451.
- Márquez, C., Prat, A. 2005. Leer en clase de ciencias, *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 23 (3), 431-440.
- Martínez, J. 2006. Educación y Ciudadanía, *Eikasia. Revista de Filosofía*, II (6), 7-24.
- McClune, B. 2006. *Teaching science today for living tomorrow: a conceptual framework and pedagogical model for promoting students' critical response to science in the news* (Doctoral dissertation, Queen's University of Belfast).
- McClune, B., & 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.
- McClune, B., & Jarman, R. 2012. Encouraging and equipping students to engage critically with science in the news: what can we learn from the literature?. *Studies in Science Education*, 48(1), 1-49.
- McPeck, J. 1981. *Critical Thinking and Educación*, St. Martin's Press, New York, 1981.
- Meinguer, J. 2011. *La docencia de la estructura de la materia en el bachillerato universitario a través de un enfoque histórico* (tesis de maestría), Facultad de Química, UNAM, México.
- Méndez, M. 2002. La cultura científica, base de un nuevo humanismo, en Tonda, J., Sánchez, A. y Chávez, N. (coords.), *Antología de la Divulgación de la Ciencia en México*, 262-267, DGDC-UNAM, México.
- Millar, R., & Osborne, J. (Eds.). 1998. *Beyond 2000: Science education for the future: A report with ten recommendations*, UK: King's College London, School of Education, London.
- Miller, J. 2000. The development of civic scientific literacy in the United States. In: Kumar, D & Chubin, D. (eds.), *Science, Technology, and Society*, 21-47, Springer Netherlands.
- Montmarquet, J. 1993. Epistemic Virtue and Doxastic Responsibility, *American Philosophical Quarterly*, 331-341.
- Morin, E. 2006. *El conocimiento del conocimiento*, Cátedra, Madrid.
- Mosterín, J. 1993. *Filosofía de la Cultura*, Alianza Editorial, Madrid.

Murray, G. 2012. Grafeno: ¿La siguiente revolución tecnológica?, ¿Cómo ves?, núm. 164. pp. 22-25.

NAS (National Academies of Sciences). 2016. *Effective Chemistry Communication in Informal Environments*, the National Academies Press, Washington, DC.

Nieto, A. y Saiz, C. 2009. Relación entre las habilidades y las disposiciones del pensamiento crítico. *Motivación y emoción: Contribuciones actuales*, 2, 255-263.

Norris, S., & Phillips, L. 1994. Interpreting pragmatic meaning when reading popular reports of science, *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9), 947-967.

Norris, S., Phillips, L., & 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.

OECD. 2007. *Programme for International Student Assessment, PISA 2006. Science competencies for tomorrow's world*. Volume I: Analysis. Paris: Organisation for Economic Co-Operation and Development. Disponible en: [file:///C:/Users/JORGE/Downloads/InformePISA2006-FINALingles%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/JORGE/Downloads/InformePISA2006-FINALingles%20(1).pdf)

OCDE, 2010. *Habilidades y competencias del siglo XXI para los aprendices del nuevo milenio en los países de la OCDE* (traducción por ITE-España), Ministerio de Educación de España. Disponible en: http://recursostic.educacion.es/blogs/europa/media/blogs/europa/informes/Habilidades_y_competencias_siglo_21_OCDE.pdf

OECD. 2012. *Education Today 2013: The OECD Perspective*, OECD Publishing. Disponible en: http://www.oecd-ilibrary.org/education/education-today_22190430

Olivares, E. 2009. Argumentos, formalización y lógica informal. *Ciencia ergo-sum*, 16(2), 125-136.

Oliveras, B. Sanmartí, N. 2009. La lectura como medio para desarrollar el pensamiento crítico, *Educación Química*, vol. 20(1), 233-245.

Oliveras, B., Márquez, C., y Sanmartí, N. 2012. Aprender a leer críticamente: La polémica de los bañadores de Speedo, *Alambique*, No. 70, 37-45.

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.

Olson, D. 2001. Literate minds: literate societies, en: Tynjala, P.; Mason, L. Y Lonka, K., eds., *Writing as a learning tool*, 1-5, Colleague of Education, Penn State University.

Ortega, F., Alzate, O., y Bargalló, C. 2015. La argumentación en clase de ciencias, un modelo para su enseñanza. *Educacao e pesquisa*, 41(3), 629-646.

Osborne, J. 2012. The role of argument: Learning how to learn in school science. In *Second international handbook of science education*, Springer Netherlands.

Paul, R. 1992. Critical thinking: What, why, and how. *New Directions for Community Colleges*, 77, 3-24.

Paul, R. & Elder, L. 2006. *The Miniature Guide to Critical Thinking-Concepts & Tools*. The Foundation for Critical Thinking. Retrieved May 20, 2014 from:
https://www.criticalthinking.org/files/Concepts_Tools.pdf

Paul, R. & Elder, L. 2007. *A guide for educators to critical thinking competency standards*. Foundation for Critical Thinking. Retrieved in 2015 from:
<https://www.criticalthinking.org/store/products/critical-thinking-competency-standards-for-educators/227>

Paulson, D. 1999. Active learning and cooperative learning in the organic chemistry lecture class, *Journal of Chemical Education*, 76, 1136-1140.

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*, 39-72, Eudeba, Buenos Aires.

Pedretti, E., Bencze, L., Hewitt, J., Romkey, L., & Jivraj, A. 2008. Promoting issues-based STSE perspectives in science teacher education: Problems of identity and ideology. *Science & Education*, 17(8), 941-960.

Pedrinaci, E. 2008. ¿Es sostenible tu consumo? Como construir una argumentación científica escolar, *Leer.es*, Ministerio de Educación de España. Revisado en:
http://leer.es/documents/235507/242734/bach1_eso4_bg_fq_cmc_consumosost_al_pedrinaci.pdf/f1dd2d7b-9d86-46ed-a7b1-8075fa44af05

Phillips, L. & Norris, S., 1999. Interpreting popular reports of science: what happens when the reader's world meets the world on paper? *International Journal of Science Education*, 21(3), 317-327.

Polino, C., Fazio, M. y Vaccrezza, L. 2003. Medir la percepción pública de la ciencia en los países iberoamericanos. Aproximación a problemas conceptuales, *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología, Sociedad e Innovación (CTS+I)*, No. 5, disponible en:
<http://www.oei.es/historico/revistactsi/numero5/articulo1.htm#5a>

Prat, A., Márquez, C., Marbà, A. 2008. Literacitat científica i lectura, *Temps d'Educació*, 34, 67-82.

Ratcliffe, M., Harris, R., & McWhirter, J. 2004. Teaching ethical aspects of science: ¿is cross-curricular collaboration the answer?: Ethics in science education, *School science review*, 86(315), 39-44.

Regules, S. 2007. Un dilema para divulgadores, en Biro, S. (coord.), *Miradas desde afuera: investigación sobre divulgación*, colección divulgación para divulgadores, 20-24, DGDC-UNAM, México.

Reviglio, A. 2014. Por qué y para qué enseñar nanotecnología en las escuelas, en Silvestri, S., Muncie, A. y Alassia, M., *Nanotecnología Hoy: el desafío de conocer y enseñar*, 159-183, Ministerio de educación de la Nación, Buenos Aires.

Reynoso, E. 2002. La cultura científica y la comunidad de divulgadores de la ciencia y la técnica, en Tonda, J., Sánchez, A. y Chávez, N. (coords.), *Antología de la Divulgación de la Ciencia en México*, 280-289, DGDC-UNAM, México.

Roqueplo, P. 1983. *El reparto del saber*, Gedisa, Buenos Aires.

Sagan, C. 1997. *El mundo y sus demonios*, Planeta, México.

Saladino, A. 2012. Pensamiento Crítico, *conceptos y fenómenos fundamentales de nuestro tiempo*, IIS-UNAM, disponible en: http://conceptos.sociales.unam.mx/conceptos_final/506trabajo.pdf

Sánchez, A. 2002. *La divulgación de la ciencia como literatura*, colección divulgación para divulgadores, DGDC-UNAM, México.

Sánchez, A. 2010. *Introducción a la comunicación escrita de la ciencia*, Universidad Veracruzana, México.

Sánchez-Mora, C. 2014. Los museos de ciencia, espacios para la divulgación interpersonal, *Revista Digital Universitaria* [en línea], vol. 15 (3). Disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.15/num3/art20/>

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 Nanociencia y Nanotecnología*, 4(2), 83-102.

Santisteban, A. 2013. La investigación sobre el desarrollo de la competencia social y ciudadana para una participación crítica, en: García, F. y De Alba N., *Educación para la participación ciudadana en la enseñanza de las ciencias sociales*, 277-286, Díada Editora, Sevilla.

Sanz, N., y López, J. 2012. Cultura científica para la educación del siglo XXI. *Revista Iberoamericana de Educación*, vol. 58, 35-59.

SECyT. 2004. *Los argentinos y su visión de la ciencia y la tecnología*, Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Argentina.

Serena, P. 2013. Acercando la Nanotecnología a la sociedad: la exposición un paseo por el nanomundo, *Revista Digital Universitaria*, 14 (4), disponible en: <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*, nanoDYF, Madrid.

Shamos, M. 1995. *The myth of scientific literacy*, Rutgers University Press.

Shen, B. 1975. Science Literacy: Public understanding of science is becoming vitally needed in developing and industrialized countries alike, *American Scientist*, 63 (3), 265-268.

Siegel, H. 1989. The rationality of science, critical thinking, and science education. *Synthese*, 80(1), 9-41.

Solbes, J., y Torres, N. 2013. ¿Cuáles son las concepciones de los docentes de ciencias en formación y en ejercicio sobre el pensamiento crítico? *Tecné, Episteme y Didaxis*, 33, 61-85.

Sosa, E. 1992. *Conocimiento y virtud intelectual*, FCE, México.

Sosa, E. 2004. *El conocimiento reflexivo en los mejores círculos*, cuadernos de crítica, IIF-UNAM, México.

Sosa, E. 2007. *A Virtue Epistemology: Apt Belief and Reflective Knowledge*, New York, Oxford University Press.

Sutton, C. 2003. Los profesores de ciencias como profesores de lenguaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), p. 21-25.

Talanquer, V. 2009. De escuelas, docentes y TICs, *Educación Química*, 20 (3), 345-349

Takeuchi, N. 2009. *Nanociencia y nanotecnología, la construcción de un mundo mejor átomo por átomo*, FCE (colección ciencia para todos), México.

Takeuchi, N. y Basiuk, V. 2011. Investigación de nanoestructuras de carbono en México, en Takeuchi, N. (ed.), *Nanociencia y Nanotecnología*, 21-41, CEIICH-UNAM, México.

The Project on Emerging Nanotechnologies, *Fundación Woodrow Wilson International Center for Scholars*, revisado en abril del 2016 en: <http://www.nanotechproject.org/>

Toulmin, S. 2006. *The Uses of Argument*, Cambridge, Nueva York.

- Trigueros, M. 2002. Un análisis del proceso de comunicación, en Tonda, J., Sánchez, A. y Chávez, N. (coords.), *Antología de la Divulgación de la Ciencia en México*, 334-337, DGDC-UNAM, México.
- Torrego, J y Negro, A. 2014. *El aprendizaje cooperativo en las aulas*, Alianza Editorial, Madrid.
- UNESCO.2006. *Media education. A kit for Teachers Students, Parents and Professionals*, Paris, L´exprimeur.
- Valdés, M., 2011. Introducción (Parte II: epistemología de virtudes) en Normas, *Virtudes y Valores Epistémicos*, Valdés, M., y Fernández, M. (comp.), IIF-UNAM, México.
- Vázquez, A., Acevedo, J., y Manassero, M. 2004. Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: evidencias e implicaciones para su enseñanza, *Revista Iberoamericana de Educación*, Consultado en: http://rieoei.org/did_mat19.htm
- Vessuri, H. 2009. Gobernabilidad del riesgo de la convergencia tecnológica. *Tecnología y Construcción*, 25, 79-85.
- Vilches, A., y Gil, D. 2011. El trabajo cooperativo en las clases de ciencias: una estrategia imprescindible pero aún infrautilizada. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 69, 73-79.
- Villoro, L. 2014. *Crear, Saber y Conocer* (decimoséptima reimpresión), Siglo XXI, p. 71.
- Walton, D. 1999. *Informal Logic. A Handbook for Critical Argumentation*, Cambridge University Press, Nueva York.
- Warburton, K. 2003. Deep learning and education for sustainability. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 4(1), 44-56.
- Wellcome Trust, Office of Science and Technology, Science and the Public. 2000. "A review of science communication and public attitudes to science in Britain". Disponible en: <https://wellcome.ac.uk/what-we-do/reports>
- Wellington, J. 1991. Newspaper science, school science: friends or enemies?, *International Journal of Science Education*, 13(4), 363-372.
- Wellington, J. & Osborne, J. 2001. *Language and literacy in science education*, Buckingham, UK: Open University Press.
- Wright, I. 2002. Critical Thinking in the Schools: Why Doesn't Much Happen? *Informal Logic*, 22 (2), 137-154.

Zamarrón, G. 2002. Divulgación de la ciencia, un acercamiento, en Tonda, J., Sánchez, A. y Chávez, N. (coords.), *Antología de la Divulgación de la Ciencia en México*, 343-352, DGDC-UNAM, México.

Zamarrón, G. 2006. De Cultura Científica y Anexas, en *Universidad, Comunicación y Ciencia*, UABC- Mario Porrúa edit., México, 129-145.

Zayas, F. 2010. Leer en la red, en Ministerio de educación (comp.), *Leer para aprender. Leer en la era digital*, pp. 109-114, España.

Anexo 1.
Relevancia disciplinar
de las NC

ANEXO 1

Generalidades sobre Nanotecnología del Carbono

A1.1 Importancia del estudio de la nanotecnología

En diciembre de 1959, el físico estadounidense Richard Feynman (1918-1988) en una conferencia en la APS (*American Physical Society*) formuló una hipótesis muy controvertida para su tiempo: la posibilidad de manipular a la materia átomo por átomo. El título de su conferencia fue “*There is plenty room at the bottom*” (hay mucho espacio haya abajo), en esta el ganador del premio Nobel de Física en 1965 señaló que no había ningún impedimento en el marco teórico de la ciencia—particularmente de la física— para controlar a la materia a nivel atómico, también señaló que los sistemas a esta escala debían presentar propiedades muy diferentes a los materiales macroscópicos. Sus ideas fueron tomadas con mucho recelo e inclusive catalogadas como fantasiosas o exageradas por la comunidad científica de la época.

En la década de los 80’s el ingeniero del MIT Eric Drexler—un conocedor de los avances que se estaban suscitando en el campo de la microscopia electrónica—, comenzó a denominar al estudio de proceso atómicos y moleculares como nanosistemas y a ofrecer información sobre sus potencialidades, una cuestión que puede rastrearse en su libro “*Engines of Creation*”¹ (máquinas de la creación) publicado en 1986. Si bien, la obra de este autor se ha caracterizado por estar rodeada de polémica, se le considera a él uno de los pioneros en popularizar las ventajas que ofrece el campo de la nanotecnología en la Sociedad.

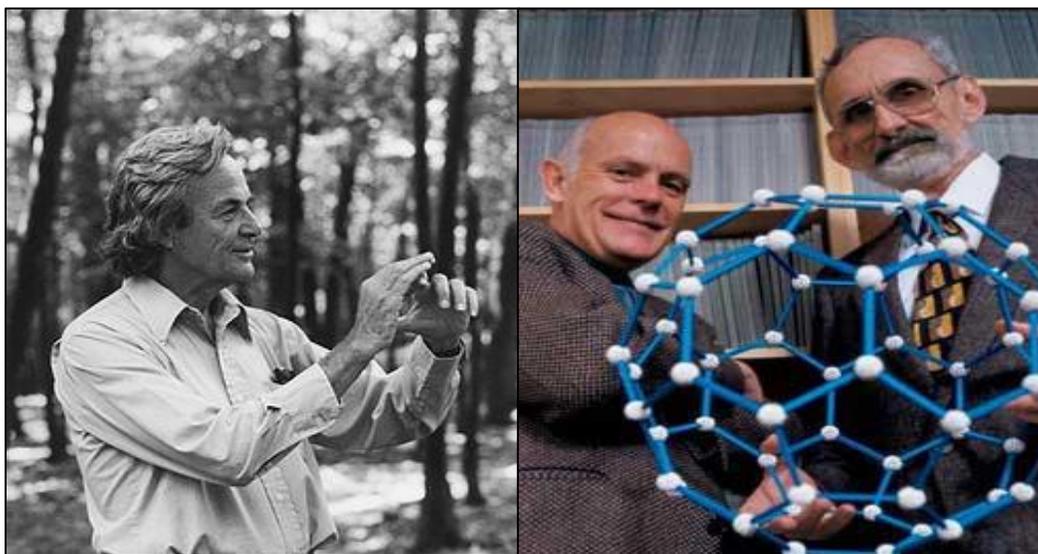


Figura 1. Izquierda, el Físico Richard Feynman (1818-1988) figura icónica en el campo de la nanotecnología. Derecha, Robert Curl y Richard Smalley (1943-2005) químicos pioneros en el estudio de las nanoestructuras de carbono (NC).

¹ Eric, D. 1990. *Engines of creation*, Fourth Estate, London.

En el año de 1989 investigadores de la IBM sorprenden al mundo colocando 35 átomos de xenón sobre una superficie de níquel con la forma del logotipo de esta compañía. Un acontecimiento que se convierte en un hito en la ciencia moderna, debido a que por primera vez se realizaba de forma exitosa una manipulación atómica. La posibilidad de construir y deconstruir estructuras moleculares es la base que da sustento a la investigación en nanociencias y nanotecnología.

La nanociencia es el estudio de los procesos que ocurren en las estructuras de un tamaño entre 1 y 100 nanómetros (nm)—un nanómetro es el equivalente a 1×10^{-9} m—. Por su parte, la nanotecnología es el área que investiga, diseña y fabrica tanto materiales como dispositivos a escala nanoscópica dándoles alguna aplicación práctica (Takeuchi, 2009)². La importancia que ha cobrado esta área de conocimientos en los últimos años, se debe a dos importantes logros, por un lado, el avance tecnológico en el campo de la microscopía y, por el otro, la consolidación de uno de los constructos más importantes que posee la ciencia para describir las propiedades de la materia, la mecánica cuántica.

Un microscopio, es un equipo cuya función es visualizar objetos que son demasiado pequeños para ser observados a simple vista, ejemplo de estos instrumentos son los microscopios ópticos con los que la mayoría de las personas han tenido contacto alguna vez en su formación escolar. Cuando la dimensión de un objeto es mucho menor a la longitud de onda perceptible con los sentidos—región visible del espectro electromagnético—, es necesario utilizar microscopios más poderosos y sofisticados. Existen diferentes tipos de microscopios utilizados para estos casos, entre los más utilizados se encuentra el microscopio electrónico de transmisión (TEM, del inglés *transmission electron microscope*), el microscopio electrónico de barrido (SEM, del inglés *scanning electron microscope*), el microscopio de efecto túnel (STM, del inglés *scanning tunneling microscope*) y el microscopio de fuerza atómica (AFM, del inglés *atomic force microscope*).

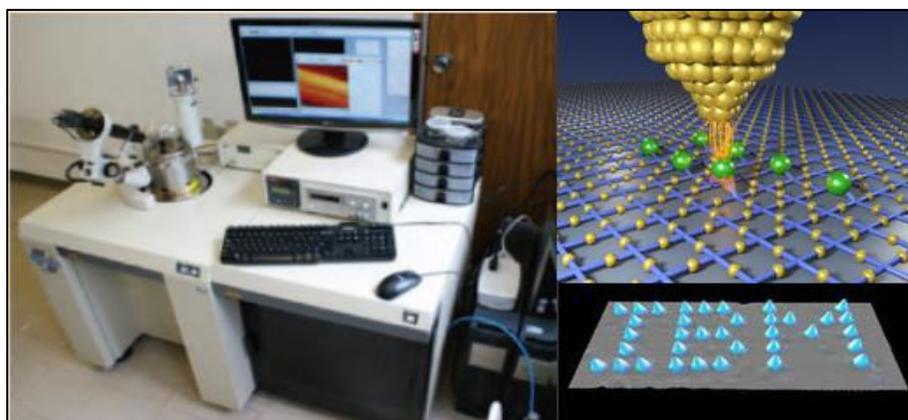


Figura 2. Izquierda, un equipo estándar de STM. Derecha, la representación del funcionamiento de la punta del STM y la imagen de la compañía IBM hecha con ayuda de estos instrumentos en 1989.

² Takeuchi, N. 2009. *Nanociencia y nanotecnología, la construcción de un mundo mejor átomo por átomo*, FCE (colección ciencia para todos), México.

El funcionamiento de estos instrumentos sigue un proceso similar al de los microscopios convencionales. La muestra se coloca sobre un soporte que es controlado por una computadora para hacer movimientos muy ligeros, mientras una punta o sonda del microscopio en cuestión se aproxima y recorre o escanea toda la superficie de la muestra. En el caso de los microscopios electrónicos la interacción entre los electrones irradiados con la punta y los de la muestra generan una serie de señales, las cuales son decodificadas mediante sistemas de detección que permiten obtener imágenes a base de sombras. Por su parte, los microscopios de tunelaje y fuerza atómica generan imágenes por medio de la medición de una propiedad física específica entre la sonda y el material de estudio, por ejemplo, voltaje, intensidad de corriente, un campo magnético, etc. Con estos modernos dispositivos no solamente es posible observar de forma indirecta a los átomos sino también manipularlos.

Por su parte, la mecánica cuántica es la teoría aceptada y utilizada para el estudio de los sistemas atómicos y moleculares, sus postulados básicos comenzaron a desarrollarse al inicio del siglo XX, como consecuencia de una serie de problemas reportados por los científicos de la época, sobre utilizar descripciones clásicas para explicar el comportamiento de la materia a nivel atómico y su relación con la radiación electromagnética (luz). La modelación y descripción cuántica de los nanosistemas no es cuestión fácil de comprender, mucho menos de dominar y explicar porque implica la consideración de una serie de postulados—en su mayoría de carácter teórico— que chocan con nuestra percepción del mundo, esto es, de explicar los fenómenos de nuestro entorno mediante el uso de los sentidos.

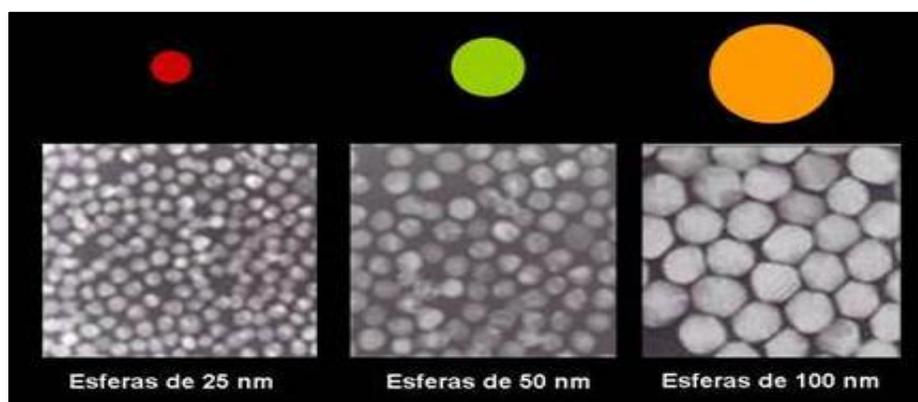


Figura 3. Coloración de las nanopartículas de oro de diferente tamaño.

En el mundo cuántico o nanomundo, las propiedades químicas, físicas y biológicas de los materiales resultan insólitas e inclusive contradictorias. Por ejemplo, si se comparan varios objetos hechos de oro del mismo grado de pureza—un lingote, una cadena, una moneda y un fragmento microscópico de este metal ($1 \times 10^{-6} \text{m}$)—, se encontrará que, aunque su forma y tamaño son distintos, sus propiedades físico-químicas no cambian, el color, el punto de fusión, la dureza, la densidad y reactividad se conservan. Sin embargo, al estudiar partículas de oro menores a 100 nanómetros (nm) con los microscopios antes mencionados, se ha reportado que sus propiedades cambian drásticamente, así al aproximarse a una dimensión de 50 nm dejan de tener la característica tonalidad dorada para tornarse verdes y rojas cuando

su dimensión oscila entre los 20 y 30 nm. Cambian también, sus demás propiedades como el punto de fusión, reactividad, conductividad, etc. El oro nanoscópico dista mucho de nuestra percepción histórica de este importante elemento químico.

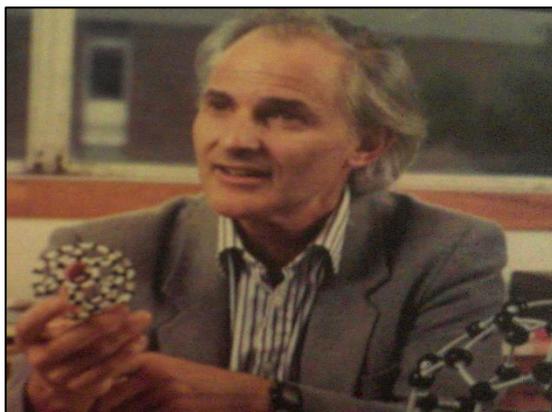
En el plano académico internacional, la investigación en nanociencias y nanotecnología es liderada por países desarrollados como los Estados Unidos, Japón, Inglaterra y los países miembros de la Unión Europea (UE). En el contexto nacional, existe una importante presencia de este campo de estudios en gran parte de las universidades y centros de investigación, donde destaca lo que se realiza en la UNAM, el CINVESTAV del IPN y la UAM, así como los laboratorios auspiciados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) como el CIMAV (Centro de Investigación en Materiales Avanzados) ubicado en el estado de Chihuahua, el LINAN (Laboratorio Nacional de Nanociencia y Nanotecnología) perteneciente al Instituto Potosino de Investigación Científica y el CENAM (Centro Nacional de Metrología) que se localiza en la ciudad de Querétaro. En el ámbito educativo sobresale la labor del recientemente creado Centro de Nanociencias y Nanotecnología (CNYN) de la UNAM en la ciudad de Ensenada Baja California, la Universidad de la Ciénega en el Estado de Michoacán (UCM), la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) y de Baja California (UABC), así como algunos esfuerzos de universidades privadas como la Universidad de las Américas en Puebla (UNDLAP) y el Tecnológico de Monterrey (ITESM).

A manera de síntesis, se puede decir que la nanociencia es un área de frontera en el contexto de la investigación científica, un lugar común entre disciplinas que tradicionalmente han permanecido desconectadas y que comparten el interés de construir sinergias para explicar fenómenos de interés en la nanoescala. La importancia de su comunicación en todos los niveles educativos reside en su potencial de convertirse en un futuro no muy lejano, en un motor de innovación tecnológica sin precedentes en el presente siglo, algo comparable con lo que significó la máquina de vapor en el siglo XIX o el desarrollo de la industria electrónica en la segunda mitad del siglo XX (Takeuchi, *óp.cit.*).

A1.2 La Nanoquímica

En el ámbito de la química comienza a cobrar relevancia el estudio de los materiales nanoestructurados con la síntesis del fullereno C_{60} a finales de la década de los ochentas, un hallazgo que se describe con mayor amplitud en páginas posteriores. Desde entonces, los químicos han trasladado conocimientos y parámetros inherentes a la síntesis química—como el autoensamblaje molecular, el estudio de la composición, las propiedades de los entornos electrónicos y la funcionalización— para construir nanomateriales con propiedades específicas. La fuerza que ha cobrado esta labor es tal que, existe toda una rama disciplinar conocida como nanoquímica, la cual es muy cercana a la química verde y la biotecnología.

La nanoquímica como la mayoría de las nanociencias comparte la visión del trabajo multidisciplinar, por ende, incorpora en su labor investigativa elementos de química orgánica, inorgánica, fisicoquímica, bioquímica, así como de ciencia e ingeniería de materiales. Además, sus avances pueden contribuir a revertir el deterioro ambiental y a desarrollar formas de energía alternativas. El método más utilizado en la nanoquímica para crear nuevos materiales o funcionalizarlos es el de *Bottom-up*, según el cual, la construcción de bloques o materiales nanoestructurados se da a partir de sus componentes básicos—átomos y moléculas— en donde juega un papel clave el autoensamblaje molecular. Por ende, también se le conoce como enfoque molecular o constructivo (pues parte de lo pequeño a lo grande) y, es el más aceptado en el campo de las nanociencias (Alonso-Núñez, 2008)³.



El químico Harold Kroto (1939-2016), un histórico representante de la nanoquímica.

Una línea de investigación donde la nanoquímica tiene una amplia presencia y fuertes lazos con la física cuántica y la ingeniería de materiales, es lo concerniente, al tema disciplinar que guío esta investigación, el estudio de las nanoestructuras de carbono.

A1. 3 La nanotecnología del carbono

El carbono es uno de los elementos químicos más representativos, pues es la base estructural de más de una decena de miles de compuestos naturales como artificiales. Su número atómico es seis y tiene 4 electrones de valencia, de ahí la condición tetravalente que ha prevalecido en la descripción histórica de este elemento. Se creó que el carbono elemental se originó en el planeta como resultado de la sedimentación de enormes cantidades de plantas bajo el agua, que fueron descompuestas por la acción de diversos microorganismos en un ambiente escaso de oxígeno, el cual al fijarse en la corteza terrestre se mezcló con óxidos metálicos dando lugar a una serie de minerales importantes como el mármol—carbonato de calcio (CaCO_3)—. Es un elemento presente en grandes cantidades tanto en la naturaleza como en los seres vivos, siendo la piedra angular de una de las ramas más representativas de la denominada ciencia central, la química orgánica.

³ Alonso-Núñez, G. 2008. Nanoquímica: Ingeniería de Nanomateriales, *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria en Nanociencia y Nanotecnología*, 1(1), pp. 45-50.

Dependiendo de las condiciones de formación, el carbono puede encontrarse, ya sea como un material amorfo —carbón vegetal— donde los átomos de este elemento no siguen un patrón de ordenamiento o en dos formas cristalinas: diamante y grafito. El diamante es uno de los materiales más extraordinarios que existen en la naturaleza, sus cualidades se deben a que su estructura sigue un patrón cristalino de geometría tetraédrica, en donde cada átomo de carbono está unido a otros cuatro de manera compacta conformando una red tridimensional perfecta y extremadamente rígida. Ahora bien, si en lugar de estar acomodados tetraédricamente, los átomos de carbono adoptan un arreglo trigonal—cada átomo de carbono está enlazado a otros tres—, entonces este elemento pierde todo su esplendor y adopta su aspecto más representativo, esto es, el de un sólido negrozco, quebradizo y opaco.

El grafito es la forma cristalina más abundante del carbono, en esta conformación, los átomos de este elemento están distribuidos en capas paralelas de arreglos hexagonales, como si fuera un piso de mosaicos hexagonales. Paralelo a cada plano o capa se encuentra otra idéntica, la distancia entre dos capas es aproximadamente el doble de la distancia que hay entre dos átomos de carbono adyacentes en un arreglo hexagonal. Esto explica, por qué con un poco de fricción, los diferentes planos del grafito se superponen unos sobre otros en una superficie dejando una mancha negra, un fenómeno que cotidianamente reproducimos cuando escribimos con un lápiz. De hecho, la palabra grafito proviene precisamente del latín *graphen*, que significa escritura, ya que su uso para esta labor en particular es milenario.

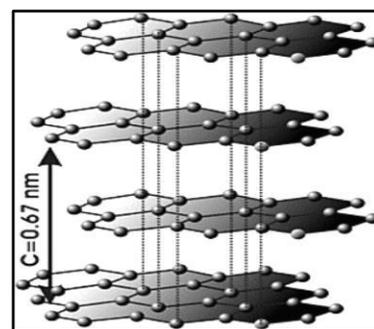


Figura 4. El grafito es una forma alotrópica del carbono que consiste en arreglos hexagonales apilados

El diamante y el grafito son lo que se conoce como alotropos, es decir, formas físicas diferentes en las que puede existir un elemento, ya sea en su arreglo tridimensional o el número de átomos que forman sus moléculas. La forma alotrópica del carbono más estudiada en la investigación nano es la del grafito, pues los materiales más destacados en esta línea de investigación guardan una fuerte relación estructural con este material.

Las nanoestructuras de carbono (NC) son materiales cuya producción es controlada en la escala nanométrica (0.1-100 nm), existe una gran variedad de NC, debido a que son el resultado de la propiedad que tiene el carbono de formar estados intermedios entre las hibridaciones más características presentes en sus compuestos (sp^2 y sp^3) con configuraciones energéticas casi idénticas (Shenderova, 2002)⁴. pueden dividirse en dos grandes grupos: 1) formas mixtas de carbono con estructuras regularmente ordenadas a las que pertenecen carbones tipo diamante, carbón vítreo, negro de carbón, hollín, entre otras y 2) formas transicionales de carbono, las cuales engloba nanoestructuras cerradas como

⁴ Shenderova O., Zhirnov V., Brenner D. 2002. Carbon nanostructures. *Crit. Rev. Solid State Mater. Sci.*, 27(3), 227–356.

fullerenos, nanotubos, nanocebollas y otros nanomateriales de corte hipotético (Hu & Shenderova, 2006)⁵.

Las NC que han recibido mayor atención por la comunidad de especialistas son las inscritas en el segundo grupo antes mencionado, siendo tres las más destacadas por sus potencialidades en el ramo tecnológico, los fullerenos, los nanotubos de carbono y el grafeno—una nanoestructura que ha sido dada a conocer de forma reciente y, aunque no posee una estructura cerrada, se le considera una forma transicional del carbono—. En las siguientes páginas, se ofrecen de manera sintética generalidades sobre estos tres materiales nanoestructurados comenzando con el grafeno, por la importancia que se le otorgo a su comunicación en el presente estudio. Es pertinente señalar que, esta breve descripción además de ser sintética, se ofrece desde una perspectiva divulgativa, es decir, sin ahondar en especificidades o en la complejidad disciplinar que reviste el tema, para los lectores interesados en profundizar con rigor científico en este, se le sugiere consultar la tesis doctoral de González (2015)⁶ o la publicación de Noboru Takeuchi (2011)⁷—en esta se ofrece un panorama general sobre lo que se está haciendo en NC en el contexto nacional—.

i. Grafeno: El material maravilloso

Como se ha mencionado, el grafito está constituido por una gran cantidad de capas apiladas una sobre otras con interacciones químicas débiles. Una sola capa de este material se sitúa en la escala nanométrica, ya que posee un átomo de espesor y es conocido como grafeno. Los primeros estudios teóricos sobre esta nanoestructura se pueden situar en el siglo XIX, cuando el grafito comenzó a describirse como una estructura laminar. Posteriormente, en 1947 fue descrito como un caso límite y posible en la estructura del grafito por el físico Philip Wallace (1915-2006), en 1987 S. Mouras y sus colaboradores le adjudican el nombre de grafeno a una sola lamina de grafito, el cual es formalizado por la IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) al definirlo en 1998 por primera vez. En el año 2004 los físicos Andrei Geim y Kostya Novoselov reportan su aislamiento y caracterización en la Universidad de Manchester, trabajo que los hizo acreedores del Premio Nobel de física en el año de 2010.

El grafeno fue obtenido por un sencillo proceso de exfoliación del grafito, los físicos involucrados en este proceso han reportado que se trata de una laminilla bidimensional de un átomo de grosor con hibridación sp^2 , la distancia entre los átomos de carbono es aproximadamente de 0.14 nm. Aunque era de esperarse que fuera una lámina perfectamente

⁵ Hu, Y., Shenderova, O. A., Hu, Z., Padgett, C. & Brenner, D. 2006. Carbon nanostructures for advanced composites. *Reports on Progress in Physics*, 69(6), 1847-1895.

⁶ González, V. 2015. Nanomateriales de carbono, síntesis, funcionalización y aplicaciones (tesis doctoral), Universidad Carlos III de Madrid, España.

⁷ Takeuchi, N. y Basiuk, V. 2011. Investigación de nanoestructuras de carbono en México, en Takeuchi, N. (ed.), *Nanociencia y Nanotecnología*, pp. 21-41, CEIICH-UNAM, México.

plana presenta algunos pliegues debido a fluctuaciones térmicas o la presencia de anillos pentagonales, se ha reportado que es inestable cuando su tamaño es menor a 20 nm (la molécula posee menos de 6000 átomos de carbono), su condición de estabilidad aumenta cuando su dimensión es cercana a los 100 nm (con más de 30,000 átomos de carbono) y adquiere una conformación espacial curva. El grafeno se puede clasificar en función del número de capas que presenta: grafeno monocapa (SG), de doble capa (DG) y multicapa (FG, con $n \leq 10$). Es considerada la unidad estructural de los fullerenos, los nanotubos de carbono y el grafito macroscópico (Geim y Novoselov, 2007)⁸.

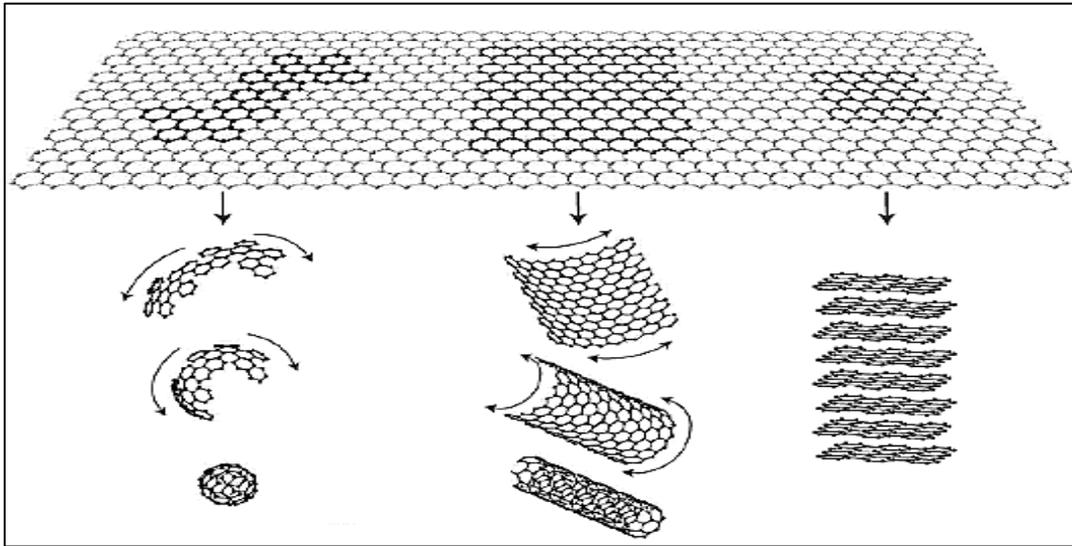


Figura 5. Grafeno como unidad estructural de las distintas formas alotrópicas del carbono grafitico, tomada de Geim y Novoselov (2007).

Lo que hace tan novedoso e interesante al grafeno son sus insólitas propiedades mecánicas, ópticas, térmicas, eléctricas y químicas, las cuales se cree pueden dar lugar a una revolución tecnológica. En cuanto a sus propiedades físicas, se ha encontrado que el grafeno es uno de los materiales más duros y resistentes, según estudios la tensión que alcanza el grafeno antes de romperse es cercana a los 1,000 Gpa (GigaPascales)⁹, es decir, casi 500 veces mayor que la que soporta una telaraña. El científico James Hone de la Universidad de Columbia traza una analogía para comprender la resistencia de este nanomaterial, al indicar que, para agujerear con la punta de un lápiz una capa de grafeno puro superpuesto en la abertura de una taza, se necesitaría ejercer una fuerza igual al peso de un automóvil (Lee & Hone, 2008)¹⁰. Además, de su alta resistencia a la tracción es un sólido elástico y flexible, ya que se puede doblar y estirar más de un 20 % de su tamaño original.

⁸ Geim A., Novoselov K. 2007. The raise of Graphene, *Nature materials*, 6, 186 – 191.

⁹ Unidad utilizada para medir la tensión mecánica en la ingeniería de materiales

¹⁰ Lee, C., Wei, X., Kysar, J., & Hone, J. 2008. Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene. *science*, 321(5887), 385-388.



Figura 6 . Izquierda, los físicos rusos K. Novoselov y A. Geim en la ceremonia donde fueron condecorados con el Premio Nobel de Física (2010) por el aislamiento y caracterización del grafeno. Derecha, propiedades más relevantes de este nanomaterial.

Geim y Novoselov junto con un equipo de investigadores de instituciones han demostrado que el grafeno conduce la electricidad y el calor mucho mejor que el cobre. En el cableado de cobre la corriente de electrones que fluye experimenta débiles colisiones lo que genera calor y le resta energía. En el grafeno, por ser una capa bidimensional este tipo de partículas circulan a velocidades comparables a la de la luz y sin impedimentos. Por esta misma propiedad, se le considera también un fuerte candidato para la fabricación de electrónicos más eficiente. En cuanto a sus propiedades ópticas, el grafeno es una nanoestructura transparente y tiene la capacidad de absorber un alto porcentaje de luz blanca por lo que puede ser usado en sistemas de detección. Finalmente, en lo que respecta a sus propiedades químicas el grafeno como el grafito puede adsorber átomos y agregados moleculares en proceso catalíticos controlados, aunado a ello, es contemplado como un material razonablemente inerte (Carrillo y Magaña, 2009)¹¹.

Por las propiedades anteriormente descritas, el grafeno es objeto de investigación en diferentes áreas científicas y tecnológicas alrededor del mundo. En 2010, a cinco años de ser descubierto este material, se contaban ya con cerca de 4, 000 artículos académicos y cerca de 500 patentes, cifra que se ha incrementado significativamente en los últimos años. Hoy en día, gigantes de la industria de los electrónicos y telecomunicaciones como Samsung, IBM, Nokia, Lg entre otras invierten fuertes sumas de dinero en estudios tecnológicos que buscan incorporar al grafeno en la fabricación de baterías, pantallas táctiles transparentes, dispositivos flexibles, microprocesadores, sensores y transistores. Otras posibles aplicaciones que se vinculan con esta NC, es su uso para filtrar hebras de ADN, lo que coadyuva al establecimiento de nuevas técnicas para descifrar secuencias genéticas, se piensa

¹¹ Carrillo, I., & Magaña, L. F. 2009. Adsorption of carbon monoxide on graphene with high titanium coverage. *Revista mexicana de física*, 55(6), 409-411.

por sus propiedades ópticas puede ser empleado como un componente en dispositivos de detección o imagen en medicina. En el campo de los materiales, se puede mezclar con plásticos dando lugar a productos más ligeros, duros y resistentes que sustituyan el empleo de metales, por ejemplo, en la fabricación de piezas de la industria automotriz o el fuselaje de los aviones. En el ramo químico, la funcionalización¹² del grafeno es utilizada para mejorar la adsorción de analitos en procesos bioquímicos, en la eliminación de contaminantes atmosféricos, así como en la fabricación de electrodos más eficientes (Brownson, 2011)¹³.

Por lo descrito con anterioridad, el grafeno es un material nanoestructurado con fuertes implicaciones tecnológicas. No obstante, se debe tener en cuenta que, para su concreción y consolidación, es necesario contar con procesos de síntesis que permitan su obtención con un alto grado de calidad y a escala industrial. Hasta el momento, los métodos de producción del grafeno son complicados, engorrosos y altamente costosos. Se espera que, por el auge que ha generado ésta nanoestructura en el ámbito de la investigación científica, la competencia existente en el terreno de las patentes y su fuerte financiamiento, este obstáculo sea superado pronto y comencemos a atestiguar su presencia en innovaciones tecnológicas a mediano plazo.

ii. *Nanotubos de Carbono*

Los nanotubos de carbono (CNT, del inglés *carbón nanotubes*) son otra forma nanoestructurada y alotrópica del carbono. Su existencia fue reportada por primera vez en el año de 1991 por el físico japonés Sumio Iijima, como un subproducto en la síntesis de fullerenos. Los CNT pueden describirse como nanoestructuras cilíndricas, las cuales pueden ser abiertas o cerradas en los extremos por la mitad de una molécula de fullereno (hemi-fullereno), pueden estar formados por una sola capa de grafeno enrollada sobre su propio eje (CNT monocapa) o por varias capas de este material enroscadas una sobre otra (CNT multicapa). Los nanotubos de pared simple contienen menos defectos estructurales, lo que les confiere mejores propiedades físicas en comparación de los CNT multicapa. Los primeros poseen un diámetro que oscila entre 0.3 y 5 nm y una longitud que puede llegar hasta los 100 μm —micrómetros (1×10^{-6} m)—, mientras que los NTC de pared múltiple pueden llegar a tener un diámetro que alcanza hasta los 100 nm y una longitud de varios centímetros.

Las propiedades más importantes de los NTC son su gran resistencia (100 veces más que una fibra de acero), la cual ha dado pauta a la realización de importantes estudios que analizan la aplicación de los nanotubos como materiales reforzantes. Otra característica importante, es su elevada fuerza mecánica, pues existe evidencia empírica de que son un tipo de material

¹² En química el concepto de funcionalización hace referencia a la capacidad de adicionar diferentes grupos funcionales a los nanosistemas para cambiar sus propiedades físico-químicas, logrando con ello, incrementar su solubilidad en algunos disolventes, mejorar su manipulación, utilizarlos para el transporte electrónico, térmico, crear materiales híbridos con propiedades a la medida, etc.

¹³ Brownson, A., Kampouris, K., Banks, E. 2011. An overview of graphene in energy production and storage applications, *Journal of Power Sources*, 196, 4873-4885.

más fuerte y flexible que las fibras de carbono tradicionales, también, se consideran materiales que conducen el calor y en lo referente a la electricidad, su conductividad depende de la forma en que son enrolladas las láminas de grafeno. Así, cuando los átomos de carbono adquieren una disposición de sillón (del inglés *armchair*) estos conducen la electricidad de forma óptima, cuando al ser enrollados lo que se forma es una ordenación tipo zig-zag su comportamiento eléctrico es el de un semiconductor y, finalmente, si los átomos de carbono toman una configuración espacial diferentes a las dos descritas con anterioridad, se les considera quirales, estos últimos se caracterizan por tener propiedades aislantes—aunque también pueden experimentar el fenómeno de la semiconducción— (Castillo, 2012)¹⁴.

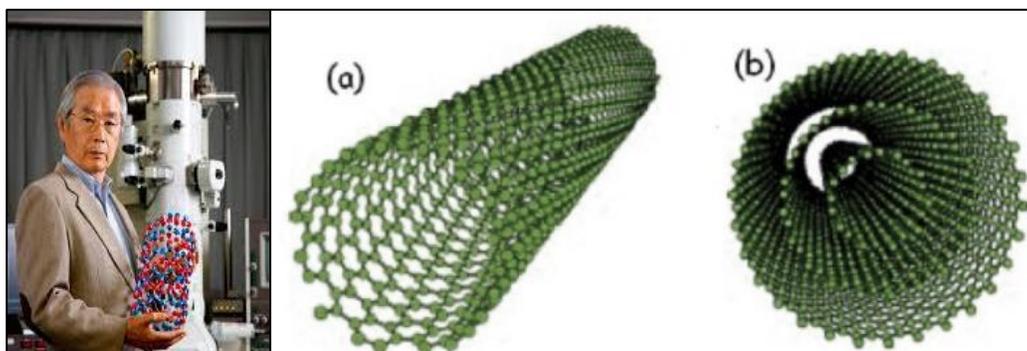


Figura 7. Izquierda, Sumio Iijima a quién se le atribuye el descubrimiento de los NTC. Derecha, a) representación de un CNT monocapa y b) CNT multicapa.

Las propiedades de los CNT pueden modificarse encapsulando en su interior metales para mejorar aún más su conductividad, también pueden encapsular gases y funcionalizarse o decorarse con otras moléculas. Entre sus aplicaciones más destacadas, se encuentra su uso como un componente importante de los microscopios de barrido, su incorporación como refuerzo en procesos síntesis de polímeros y textiles relacionados con la fabricación de productos deportivos, de construcción, piezas de automóviles, cableado e inclusive constituyen un objeto de estudio en la industria aeroespacial. (Takeuchi, óp. cit.).

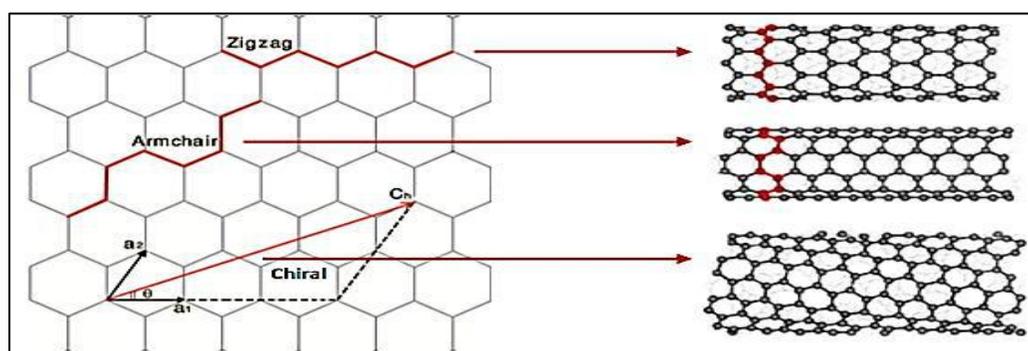


Figura 8. Diagrama esquemático donde se muestra la conformación de zig-zag, sillón (*armchair*) y quiral (*chiral*) de los CNT.

¹⁴ Castillo, F. 2012. *Introducción a los nanomateriales*, FES-Cuautitlán (serie lecturas de ingeniería), UNAM, México.

En el caso de los NTC tipo sillón, se estudia su incorporación para en el diseño de polímeros conductores que puedan ser usados en la industria de los electrónicos y como un nanomaterial que posibilite el transporte de moléculas de hidrógeno o de iones litio en sus cavidades, contribuyendo con ello, a la fabricación de pilas de combustible más baratas, duraderas y eficientes.

iii. Fullerenos

En el año de 1985 Robert F. Curl, Harold W. Kroto (1939-2016) y Richard Smalley (1943-2005) al vaporizar grafito con un láser a una temperatura superior a los 10,000 °C, para simular agregados de carbono observados en el medio interestelar, registraron la producción de moléculas con un alto contenido de átomos de carbono —entre 40 a más de 90—, siendo la molécula predominante la que poseía 60 átomos de carbono (C_{60}). La disposición espacial de esta molécula fue representada de manera muy similar a un balón de fútbol soccer, es decir, como una estructura cerrada que posee 12 pentágonos y 20 hexágonos, en donde cada pentágono tiene 5 hexágonos alrededor y dos pentágonos no pueden ser adyacentes (imagen 6). La C_{60} tiene un diámetro aproximado de 0.71 nm, la distancia promedio entre los átomos de carbono es de 0.15 nm y se asocia su curvatura a la presencia de los arreglos pentagonales. A esta forma cristalina del carbono, le llamaron fullereno en honor al arquitecto Richard Buckminster Fuller (1895-1983) reconocido por la construcción de bóvedas geodésicas, estructuras que guardan un gran parecido a este tipo de moléculas. Cabe mencionar que, el trabajo realizado alrededor de la molécula C_{60} por este equipo de investigación, los llevo a conseguir el Premio Nobel de Química en el año de 1996.

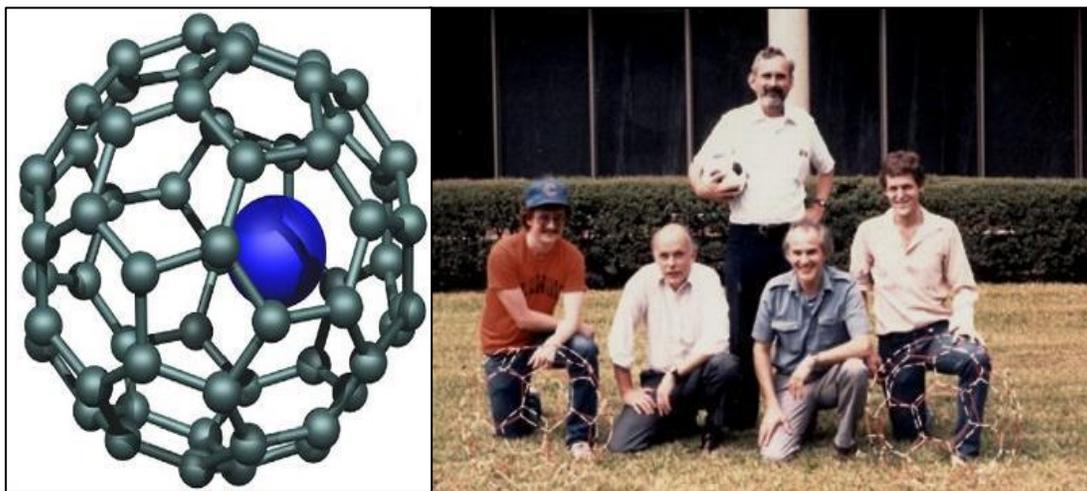


Figura 9. Izquierda, representación del fullereno C_{60} como nanomaterial encapsulante. Derecha, equipo de científicos de la Universidad de Rice en 1986 después de dar a conocer su trabajo de investigación sobre el C_{60} .

En la actualidad, se pueden fabricar y aislar fullerenos de diferentes tamaños, algunos más grandes, otros más pequeños. Por citar un caso, el fullereno más pequeño tiene 20 átomos de carbono en un arreglo de 12 hexágonos sin pentágonos. Al ser jaulas huecas de carbono, se pueden introducir o encapsular átomos de otros elementos o fragmentos moleculares en su interior y, cambiar con ello, sus propiedades. Por ejemplo, se pueden intercalar átomos metálicos mejorando sus propiedades de conductividad, también se investiga desde hace más de una década la posibilidad de encapsular en ellos el principio activo de los medicamentos y distribuirlo de forma específica en el cuerpo humano o usarlos para transportar desechos tóxicos en procesos químicos específicos.

Entre sus aplicaciones más sobresalientes se encuentran su uso como lubricante automotriz, en donde las moléculas de C₆₀ actúan como nanorodamientos interponiéndose entre las partes metálicas, reduciendo la fricción y aumentando la potencia del motor. Por otro lado, se está probando su empleo en la fabricación de células fotovoltaicas orgánicas (paneles solares) con el propósito de disminuir la concentración de silicio. Su utilización en biomedicina también es rubro muy prometedor, ya que los fullerenos son moléculas que tienen importantes propiedades antioxidantes por su capacidad de captar radicales, de igual forma pueden fungir como antivirales, pues al incorporarse a los virus se piensa que los pueden desactivar. La investigación sobre la utilización de los fullerenos en el ramo farmacéutico es un campo amplio que avanza de manera vigorosa (López y Álvarez, 2011)¹⁵.

A1.4 La ética implicada en la investigación en nanotecnología del carbono

El estudio de las NC en particular y de la nanotecnología en general, al ser áreas de frontera con amplias implicaciones tecnológicas suelen generar polémicas que rebasan el ámbito de lo científico, sobre todo, cuando se analizan los posibles efectos de sus aplicaciones en ámbitos como la salud y el medio ambiente. Razón por la cual, desde hace más de una década instituciones académicas y gubernamentales han impulsado la realización de estudios ecotoxicológicos sobre los materiales nanoestructurados. En ellos, se trata de caracterizar los daños que puede ocasionar la incorporación de nanopartículas en el organismo, así como sus efectos en la atmósfera, el suelo y los cuerpos de agua. Esto, al examinar sus propiedades de difusión, reactividad, solubilidad, y transporte (Roco, 2005).

Al respecto algunos estudios señalan que, por su dimensión y superficie altamente reactiva las nanoestructuras de carbono pueden atravesar las membranas celulares y alterar su funcionamiento (Royal Society, 2004)¹⁶. Resultados provenientes de experimentos hechos con ratones indican que las nanoestructuras de carbono pueden ser transportadas directamente desde los lóbulos olfativos hasta al cerebro causando efectos inusitados

¹⁵ López, T., Alvarez, M. y Arroyo S. 2011. Nanomedicina y Cáncer, en Takeuchi, N. (ed.), *Nanociencia y Nanotecnología*, pp. 21-41, CEIICH-UNAM, México.

¹⁶ The Royal Society. 2004. *Nanoscience and nanotechnologies: Opportunities and uncertainties*, United Kingdom.

(Oberdörster, 2005)¹⁷. Por su parte, Wallace (2008)¹⁸ han reportado que la introducción de los CNT en la cavidad abdominal de los ratones da como resultado una patogenicidad parecida a la que causan los asbestos. En lo respectivo al grafeno, Lanphere y Walker (2014)¹⁹ informan que, las moléculas de óxido de grafeno son estables y móviles en las superficies de lagos y arroyos, por lo tanto, susceptibles a contaminarlos

A pesar de los resultados descritos en el párrafo anterior, la posición dominante en la comunidad de especialistas ha sido la de asumir que se trata de casos aislados donde es necesario investigar más a fondo y, de comprobarse estos posibles daños, establecer alternativas para funcionalizar a este tipo de nanomateriales y, con ello, volverlos menos agresivos con la salud y el medio ambiente. Es muy importante contemplar, lo complicado que es generalizar efectos negativos alrededor de las NC, pues suelen estar relacionados con el tipo con el tipo de organismo receptor, con las condiciones de exposición—tiempo, concentración, temperatura, presión, etc.—, con la persistencia del material, con sus propiedades físico-químicas, etc. No obstante, en la actualidad existe el reconocimiento acerca de la necesidad de regular los procesos de manufactura, manejo y deshecho que implican la utilización de nanopartículas, así como el establecimiento de lineamientos laborales basados en códigos de ética que hagan posible su utilización responsable.

En congruencia con lo anterior, resulta apremiante que los diferentes sectores implicados en el desarrollo de la investigación en nanotecnología creen sinergias que permitan la construcción de un auténtico dialogo social sobre el tema (Delgado, 2011)²⁰. Para ello, es fundamental que se difunda información de calidad sobre este emergente campo de investigación multidisciplinar, la cual contemple tanto los aspectos de avanzada como las implicaciones éticas, ambientales, sociales, económicas que se asocian con el desarrollo de la nanotecnología. También, es importante provocar el interés y la formación de vocaciones profesionales en esta área, pues su impacto tanto disciplinar como tecnológico es muy vasto. Por consiguiente, de no formar cuadros que se dediquen de manera seria, meticulosa y planificada al estudio de esta temática en las instituciones académicas de un país o región, puede provocarse un rezago en materia científica, una cuestión costosa en términos económicos, sociales y culturales. La búsqueda de una de una amplia discusión sobre el presente y el futuro de la nanotecnología en el plano nacional, se considera un aspecto positivo en sí mismo, pues permite establecer un manejo social y responsable de lo que está en juego alrededor de este fascinante campo de conocimientos (Delgado, óp. cit.).

¹⁷ Oberdörster, G., Oberdörster, E., & Oberdörster, J. 2005. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles. *Environmental health perspectives*, 823-839.

¹⁸ Poland, C., Duffin, R., Kinloch, I., Maynard, A., Wallace, W., Seaton, A., & Donaldson, K. 2008. Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. *Nature nanotechnology*, 3(7), 423-428.

¹⁹ Lanphere, J., Rogers, B., Luth, C., Bolster, C., & Walker, S. 2014. Stability and transport of graphene oxide nanoparticles in groundwater and surface water. *Environmental engineering science*, 31(7), 350-359.

²⁰ Delgado, G. 2011. Nanotecnología, economía y sociedad: retos y paradigmas desde una perspectiva del caso mexicano, en Takeuchi, N. (ed.), *Nanociencia y Nanotecnología*, pp. 221-250, CEIICH-UNAM, México.

Anexo 2.

La comunicación de las NC en la enseñanza de la química en la ENCCH-UNAM

ANEXO 2

Relevancia de la Comunicación de la Nanotecnología del Carbono en el Marco de la Enseñanza de la Química en la ENCCH-UNAM

A2.1 Modelo Educativo de la ENCCH-UNAM

La Escuela Nacional Colegio de Ciencias y Humanidades es una institución educativa adscrita a la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), su misión es brindar una educación de calidad en el nivel medio superior. Par ello, cuenta con un modelo educativo que contempla dos objetivos, promover una formación propedéutica—que prepara al estudiante para continuar con sus estudios en el nivel licenciatura— y de cultura básica, esto es, que dota de los conocimientos, habilidades y actitudes para el desarrollo de una vida profesional, social e intelectual integra.

El Colegio de Ciencia y Humanidades (CCH) fue fundado en el año de 1971, tiempo en el que ocupaba la Rectoría de la UNAM el Dr. Pablo González Casanova, siendo parte de un ambicioso proyecto educativo que buscó renovar el papel de la enseñanza dentro de la universidad. Desde sus inicios hasta la actualidad, se ha caracterizado por impulsar una educación crítica donde los alumnos son sujetos de su propia formación, de la cultura de su medio, capaces de establecer relaciones interdisciplinarias en el abordaje de sus estudios y de aplicar de forma adecuada conocimientos en la realidad social. Además de esta formación, el CCH busca que sus alumnos se desarrollen como personas dotadas de valores y cualidades éticas que les permitan convertirse en ciudadanos habituados al respeto, el diálogo, la tolerancia, la responsabilidad y la solidaridad en la resolución de problemas de índole social (CCH, 2012)¹.

El modelo educativo del CCH puede situarse dentro de la teoría pedagógica constructivista, según la cual, el aprendizaje es un constructo tanto cognitivo como sociocultural. Desde esta perspectiva, para suscitar el aprendizaje se debe tomar en cuenta el contexto psico-social de un individuo, la identificación de intenciones e intereses de aprendizaje por parte de una institución educativa o comunidad determinada, la puesta en marcha de estrategias pedagógicas que prioricen la interacción social y la participación activa de los involucrados en la construcción de conocimientos, así como la búsqueda de alternativas novedosas en la selección, organización y presentación de los contenidos provenientes de las distintas áreas de conocimiento. Todo ello, con el objetivo de dotar de dinamismo, autonomía y significancia al proceso de aprendizaje. Gracias a enarbolar esta

¹ CCH. 2012. El Modelo educativo del Colegio de Ciencias y Humanidades, en: *Comisiones especiales para la Actualización de los Programas de Estudio de las Materias* (Material de Lectura), pp. 45-68, UNAM. Disponible en: <http://www.cch.unam.mx/sites/default/files/CEAPEM-sep2012.pdf>

visión de la educación desde sus primeros años, el Modelo Educativo del Colegio se considera vigente y un referente en la educación Media Superior a nivel nacional.

La filosofía educativa que caracteriza a la ENCCH, se sustenta y puede resumirse en tres de los cuatro pilares de aprendizaje acuñados por el francés Jaques Delors en su multicitada publicación: *L'éducation, un trésor est caché dedans*² (la educación encierra un tesoro). Una categorización ampliamente compartida por importantes instituciones vinculadas con la educación, como es el caso de la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). Estos tres pilares educativos son:

- ❖ *Aprender a aprender.* Se relaciona con la idea de desarrollar en los estudiantes una apertura hacia el aprendizaje y la capacidad de adquirir nuevos conocimientos de manera autónoma a lo largo de toda su vida.
- ❖ *Aprender a hacer.* El alumno desarrolla habilidades que le permiten poner en práctica lo aprendido en el entorno escolar. Supone conocimientos en distintos campos, dominio de metodologías y procedimientos encaminadas a la resolución de problemas en contextos cambiantes.
- ❖ *Aprender a ser.* Es un tipo de aprendizaje orientado a la formación de valores humanos, cívicos, éticos y al desarrollo de actitudes positivas hacia el conocimiento.

En el CCH se reconoce que la articulación de estos tres tipos de aprendizaje, da lugar a una formación integral, comprometida y crítica en los estudiantes que pasan por sus aulas. En síntesis, el Modelo Educativo del Colegio se fundamenta en un rechazo o distanciamiento de la educación enciclopédica, por el contrario, procura una formación que coloca al alumno en el centro del proceso de aprendizaje y lo conceptualiza como una persona activa, capaz de transformar su entorno y a sí mismo, convirtiendo a la educación en un acto vivo, incluyente, libertario y dinámico (Bazán, 2014)³.

A2.2 La visión de la ciencia y su enseñanza en el Modelo Educativo de la ENCCH

Congruente con sus aspiraciones educativas, en el CCH se define a la ciencia a partir de criterios provenientes del relativismo científico, es decir, desde una óptica fuertemente influenciada por la obra de Thomas Kuhn (1922-1996)⁴. En consecuencia, la actividad científica en el Colegio es contemplada como un proceso histórico-social, el cual está dotado de una metodología propia y cambiante basada en la racionalidad objetiva. Esto quiere decir

² Delors, J. 1996. *L'éducation, un trésor est caché dedans*. Rapport à l'UNESCO de la Commission internationale sur l'éducation pour le 21e siècle.

³ Bazán, J. (2015). Funciones del Modelo Educativo de Colegio de Ciencias y Humanidades, en *Nuevos Cuadernos del Colegio*, No. 5, ENCCH-UNAM.

⁴ Kuhn, T. 2006. *La estructura de las revoluciones científicas*, FCE (3ª edición), México.

que, sus resultados, productos y logros se encuentran en constante revisión, transformación y crecimiento. Por tal razón, la ciencia es vista como una actividad no dogmática que somete al riguroso escrutinio sus avances e implicaciones y, que una vez comprobados y validados, estos pueden dar lugar a la satisfacción de importantes necesidades sociales, así como a la resolución de problemas ambientales (CCH, 2006)⁵.

Un aspecto a resaltar de la visión de la ciencia adoptada en el Colegio, es la importancia que le otorga al estudio de temáticas y enfoques interdisciplinarios. Esto al señalar que, la gran mayoría de las investigaciones científicas de vanguardia se basan en la colaboración de distintas disciplinas científicas e inclusive se menciona que la discusión de las implicaciones tecnológicas, así como de los riesgos asociados con los productos y servicios que provee la ciencia, se puede nutrir de establecer vínculos con las humanidades. Por ello, invita tanto a científicos como a educadores a promover en sus aulas y laboratorios acciones conjuntas que permitan valorar de mejor forma el desarrollo científico, considerando sus ventajas e inconvenientes, contribuyendo así, a generar actitudes que repercutan benéficamente en el aprendizaje del conocimiento científico (CCH, óp. cit.).

Un aspecto donde existe una visión compartida entre lo propuesto en este trabajo de investigación y la perspectiva de la ciencia en el CCH, es el reconocimiento del conocimiento científico como un bien cultural que empodera a las personas. Una visión que se puede constatar en el siguiente párrafo, el cual pertenece a un documento donde se explicita el sentido del área de ciencias experimentales en el modelo educativo del Colegio.

“El conocimiento científico es una actividad humana de carácter social, de cuyos resultados se desprenden muchas aplicaciones prácticas con importantes repercusiones en el desarrollo de la humanidad; no se limita, por tanto, meramente a conocimientos o informaciones y a procedimientos, sino que afecta a las posiciones del individuo frente al mundo que lo rodea. Por ello, es importante subrayar la presencia de las ciencias en la cultura, no como un agregado, sino como parte integral de la misma”⁶.

Por lo expuesto en el párrafo anterior, en el CCH se asume como uno de sus objetivos de enseñanza, el promover la comprensión de la ciencia como un elemento o parte integral de la cultura, esto es, como un bien intelectual que potencia una mejor comprensión de nuestro entorno y que capacitan para desenvolverse de mejor forma en él. De esta forma, el impulso de una cultura científica se considera como un aspecto relevante porque permite la resolución de problemas en el contexto de la vida cotidiana, ofrecer explicaciones a fenómenos naturales, tecnológicos y sociales, adoptar actitudes responsables frente al desarrollo científico, así como participar activamente y con fundamento en la toma de decisiones.

⁵ CCH. 2006. Orientación y Sentido del Área de Ciencias Experimentales, en: *Orientación y Sentido de las áreas del Plan de Estudios Actualizado*, pp. 29-54, UNAM. Disponible en:

<http://www.cch.unam.mx/sites/default/files/actualizacion2012/Sentidoareas.pdf>

⁶ Óp. cit. p. 37.

A2.3 La comunicación de las Nanoestructuras de Carbono en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Química en la ENCCH

En el plan de estudios de la ENCCH, el estudio de la Química está situado dentro del área de Ciencias Experimentales y se divide en cuatro asignaturas, dos de carácter básico y obligatorio —Química I y II— y dos optativas con enfoque propedéutico, los cursos de Química III y IV respectivamente. Todos los cursos de Química de esta institución educativa tienen como objetivo contribuir a enriquecer la cultura básica del estudiante y fomentar el desarrollo del pensamiento científico. Este último, se relaciona con impulsar la indagación, la experimentación y la investigación.

Los programas de Química del Colegio están influenciados por el enfoque CTS-A (Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente), pues en ellos se plantea el estudio de contenidos disciplinares a partir de contextos cotidianos para el estudiante con el objetivo de propiciar aprendizajes significativos, superar la fragmentación que impera en el aprendizaje escolar y formar sujetos comprometidos con el desarrollo de su comunidad. Un hecho que se puede identificar con claridad al examinar los propósitos generales que se asocian a la enseñanza de la química en diversos documentos, los más destacados se muestran a continuación:

- Promover la idea de ciencia como una actividad profundamente humana, creativa, socialmente responsable, orientada a elaborar modelos para explicar la realidad, con límites a su validez y, por tanto, en constante evolución.
- Impulsar la valoración del conocimiento químico y las tecnologías respectivas en relación con la calidad de vida, sus efectos en el medio ambiente natural y social.
- Promover la comprensión de las características que hacen a la química una disciplina científica peculiar, destacando, por una parte, la posibilidad de esta ciencia de sintetizar moléculas a medida, y por otra, que el estudio de las propiedades y transformaciones de las sustancias, requiere el tránsito de la escala macroscópica a la nanoscópica.
- Resolver problemas relacionados con la disciplina, basándose en los conocimientos y procedimientos de la química, y en el análisis de la información obtenida de fuentes documentales y experimentales para comprender como es que en la industria se elaboran sustancias útiles para la sociedad.
- Desarrollará valores y actitudes, como el aprecio por los conocimientos químicos, el respeto a las ideas de otros, el gusto por el aprendizaje, la responsabilidad, la disciplina intelectual, la criticidad y la creatividad, a través del trabajo colectivo, con carácter científico, para contribuir a la formación de ciudadanos comprometidos con la sociedad y la naturaleza⁷.

⁷ ENCCH. 2016. *Programas de Estudio de Ciencias Experimentales: Química III-IV* (Actualizado), UNAM, p. 12. Disponible en: http://www.cch.unam.mx/sites/default/files/programas2016/QUIMICA_III_IV.pdf

De lo anterior, resulta clara la conexión existente entre la finalidad sustancial de esta investigación—el desarrollo del pensamiento crítico— con la perspectiva que el CCH reivindica en torno a la enseñanza de la ciencia en general y de la química en particular. Por tanto, es posible sostener que, el modelo operacional propuesto e implementado para desarrollar el pensamiento crítico enriquece el trabajo educativo en torno a la Química en el Colegio, ya que ofrece una ruta concreta para dar cumplimientos a varios de los fines educativos antes mencionados.

Por otro lado, a pesar de que en los objetivos generales de la enseñanza de la Química en el CCH figura la importancia del estudio del mundo de los átomos y las moléculas en la escala nanoscópica, es realmente en el cierre de la asignatura de Química IV donde el estudio de la nanotecnología adquiere relevancia formal. El último curso de Química en el CCH, como se ha mencionado es de naturaleza propedéutica, esto quiere decir que, está dirigido a estudiantes que han manifestado una orientación vocacional cercana al ámbito científico o interés y simpatía por este campo de conocimientos. La asignatura está basada en el análisis de sustancias, materiales y procesos que tienen como base estructural al elemento carbono y cuya explicación implica hacer alusión al modelo de enlace covalente. Por consiguiente, se puede contemplar como un curso preuniversitario de Química orgánica.

En el plan de estudios de esta materia, el aprendizaje contextual ocupa un lugar destacado, pues continuamente es referenciado como un elemento que dota de sentido y valor al conocimiento químico. Específicamente, está vinculado con el análisis de algunas cadenas productivas inherentes a la industria Química, como es el caso de la petroquímica y la fabricación de polímeros. En el año 2016, la programación curricular de esta asignatura fue actualizada, como resultado se adicionó un tercer y novedoso eje temático, lo concerniente al estudio de nuevos materiales inscritos en la geografía de la química del carbono, los cuales se distinguen por poseer un alto potencial tecnológico.

Este novedoso elemento curricular aparece como último subtema del plan de estudios con el título: materiales poliméricos del futuro. Entre los contenidos que invita a referenciar, se encuentra los avances en polímeros modificados, polímeros biodegradables, materiales inteligentes, superconductores y nanomateriales como el grafeno (ENCCH, 2016). Se sugiere dedicarle seis horas de trabajo escolar y utilizarlo como estrategia de cierre del curso. Los dos aprendizajes implicados, son los siguientes:

- ❖ *El alumno Comunica de forma oral y escrita sus investigaciones, respecto a las aplicaciones y al impacto social de los nuevos materiales poliméricos, para valorar las contribuciones de la química a la sociedad.*
- ❖ *Los estudiantes argumentan en torno a la necesidad de hacer un uso responsable de los materiales poliméricos sintéticos, al indagar en fuentes documentales su código de identificación y los métodos de reciclaje⁸.*

⁸ Óp. cit., p. 46.

Finalmente, en cuanto a estrategias para cubrir el tema, se recomienda el desarrollo de proyectos de investigación basados en la consulta de fuentes documentales recientes, tales como textos de revistas, notas periodísticas, artículos de investigación entre otras. Asimismo, se sugiere la evaluación de los mismos mediante breves exposiciones que generen escenarios de discusión en el alumnado (ENCCH, *óp. cit.*).

Como se puede advertir, los objetivos, la temática abordada, el trabajo metodológico emprendido, así como los resultados encontrados en esta tesis coinciden con lo estipulado en este nuevo apartado del curso de Química IV. En lo referente a objetivos, porque se buscó comunicar una temática vanguardista y de frontera que, si bien es de naturaleza multidisciplinar, posee una fuerte conexión con la Química del carbono y permite mostrar las contribuciones de esta disciplina al ramo tecnológico, cultural, social y ambiental. En segundo lugar—en lo respectivo a contenidos—, el programa de estudios al conceder importancia a referenciar materiales nanoestructurados, abre pauta a comunicar además de aspectos relacionados con el grafeno, los avances conseguidos alrededor de otras nanoestructuras que se consideran relevante en este campo, como es el caso de los nanotubos de carbono y los fullerenos—Premio Nobel de Química en 1996—. Planificar el tratamiento de la nanotecnología del carbono tomando en consideración aspectos relevantes sobre los tres nanaomateriales antes mencionados, no solamente permite una secuenciación más completa del tema, sino también la comprensión de su desarrollo y relevancia histórica.

Un aspecto donde la coincidencia es amplia entre este trabajo doctoral y lo demandado en el rubro curricular descrito, es lo respectivo a las fuentes de información a utilizar y la labor a seguir en su decodificación. El plan de estudios invita a utilizar prioritariamente recursos textuales informales, como es el caso de artículos presentes en revistas de divulgación y notas periodísticas, debido a que suelen ofrecer información reciente y abordar los contenidos disciplinares implicados desde un enfoque sociocultural, favoreciendo con ello, la construcción de aprendizajes significativos. En su análisis, se propone la discusión de la información consultada en una didáctica donde impere el diálogo y el trabajo cooperativo. El uso de fuentes mediáticas y su interpretación crítica en escenarios de deliberación colectiva, son dos elementos metodológicos nodales en esta investigación y sustentan la viabilidad del trabajo realizado con la cobertura que sugiere el CCH se haga del tema.

Finalmente, en relación con los resultados encontrados, se puede aseverar que, al impulsar el núcleo de conocimientos, habilidades y aptitudes propios del pensamiento crítico, se está contribuyendo a darle concreción a una meta educativa histórica, característica y apremiante en el Modelo Educativo del Colegio.

El valor y las contribuciones puntuales de incorporar recursos provenientes de la comunicación escrita de la ciencia en la educación química preuniversitaria, es una discusión que se ofrece en el quinto capítulo de esta tesis, por lo que ahondar en ello resulta reiterativo. Lo que se considera debe quedar claro con la lectura de este anexo, es la utilidad que reviste este estudio para mostrar cómo comunicar en las clases de Química del CCH temáticas

vanguardistas y de frontera que reditúen en la formación integral del estudiantado. Por ende, como se ha señalado en las conclusiones, esta tesis se devela como recurso de consulta útil y perfectible tanto para los profesores de Química del Colegio como los del bachillerato universitario en general, puesto que puede dar lugar a rutas metodológicas y secuencias didácticas más ambiciosas sobre el tema.

La nanotecnología del carbono, es un campo de investigación vanguardista, reciente e innovador, por su naturaleza multidisciplinar puede fincar puentes entre las diferentes asignaturas científicas que se imparten en el Colegio en particular y en el bachillerato en general e inclusive con las artes y las humanidades. Gracias a esto, coadyuva a revalorizar la enseñanza de la ciencia y la tecnología como áreas de conocimiento que potencian el entendimiento de las relaciones entre lo natural, lo artificial y lo humano. Por lo anterior, el sistema educativo debe estar preparado para hacer frente al desafío que representa la incorporación de la nanotecnología como espacio de aprendizaje y reflexión curricular. Lo realizado en este estudio es un paso adelante en ese sentido.

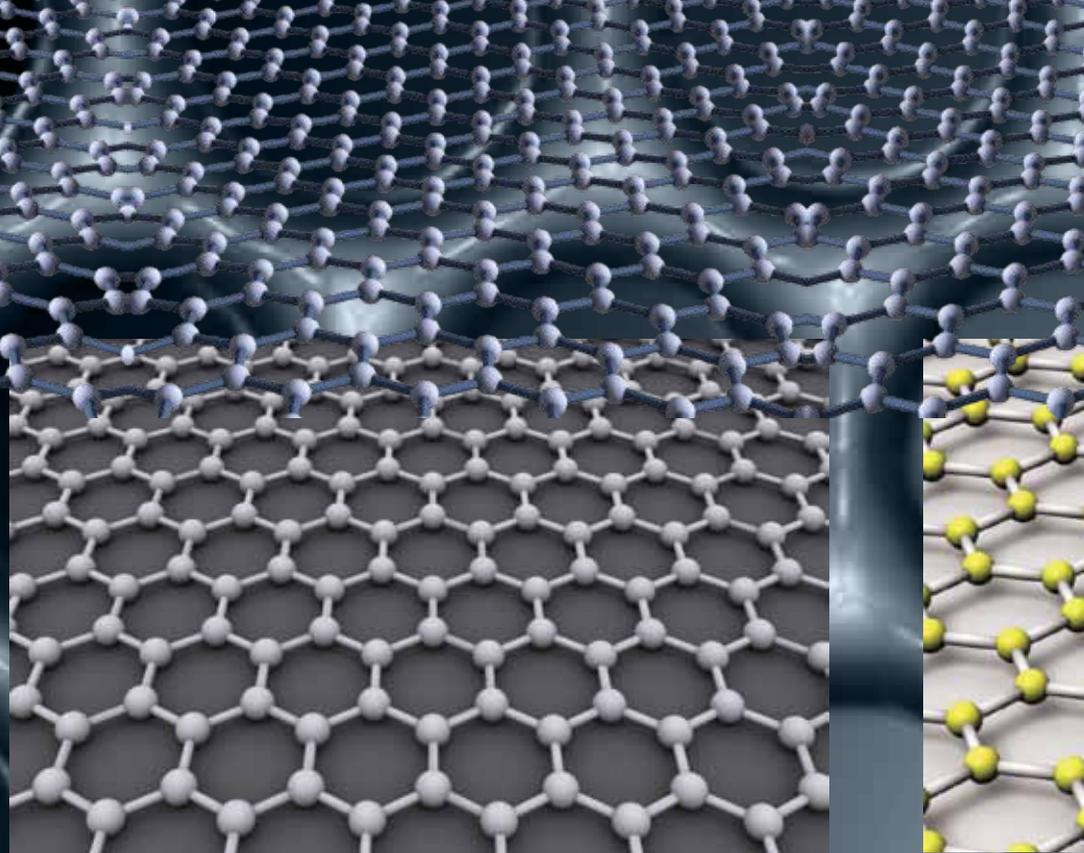
Anexo 3.

Materiales de lectura utilizados en la comunicación de las NC

GRAFENO

¿La siguiente revolución tecnológica?

Guillermo Murray Tortarolo
y Guillermo Murray Prisant



Este material, descubierto apenas en 2004, ya ha abierto una rica veta de investigaciones tanto teóricas como experimentales y tiene mucho potencial para convertirse en la nueva superestrella de los nanomateriales. Por lo pronto han empezado a aparecer las primeras aplicaciones tecnológicas e industriales.

Televisiones plegables, celulares que se enrollan y se llevan detrás de la oreja, dispositivos electrónicos de lectura flexibles como un libro tradicional, ropa con computadoras integradas: todo esto podría ser realidad en pocos años. De hecho, algunas de las compañías más grandes de productos electrónicos ya anunciaron que las primeras televisiones flexibles saldrán al mercado el próximo año. Asimismo, algunas compañías de teléfonos celulares han revelado los primeros prototipos de teléfono estilo pulsera, que se doblan y desdobl原因 por completo.

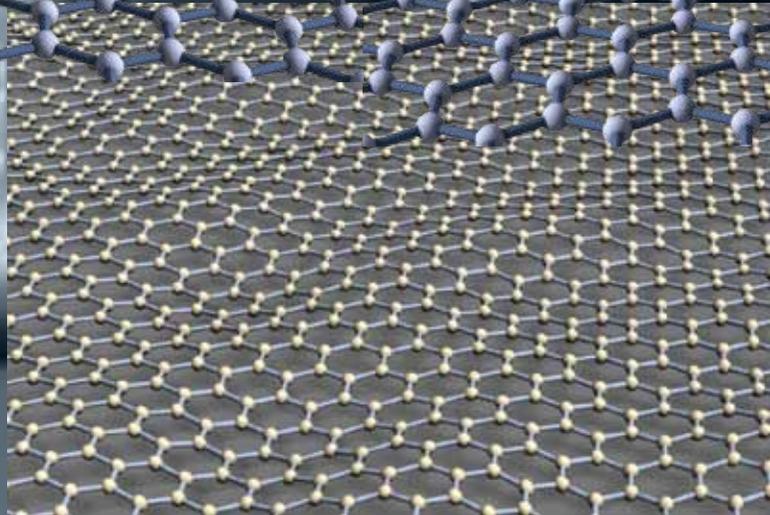
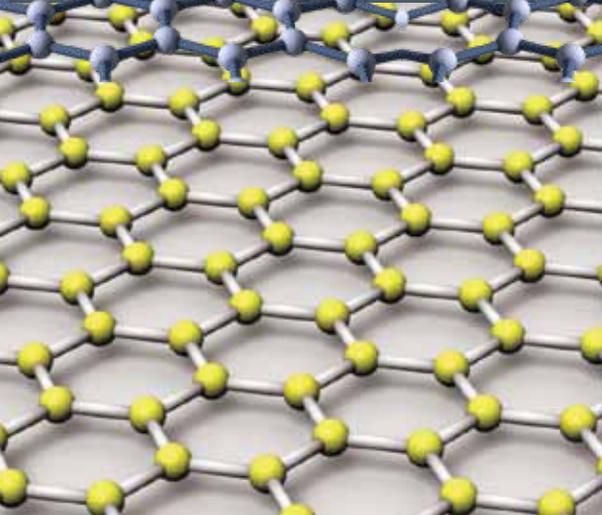
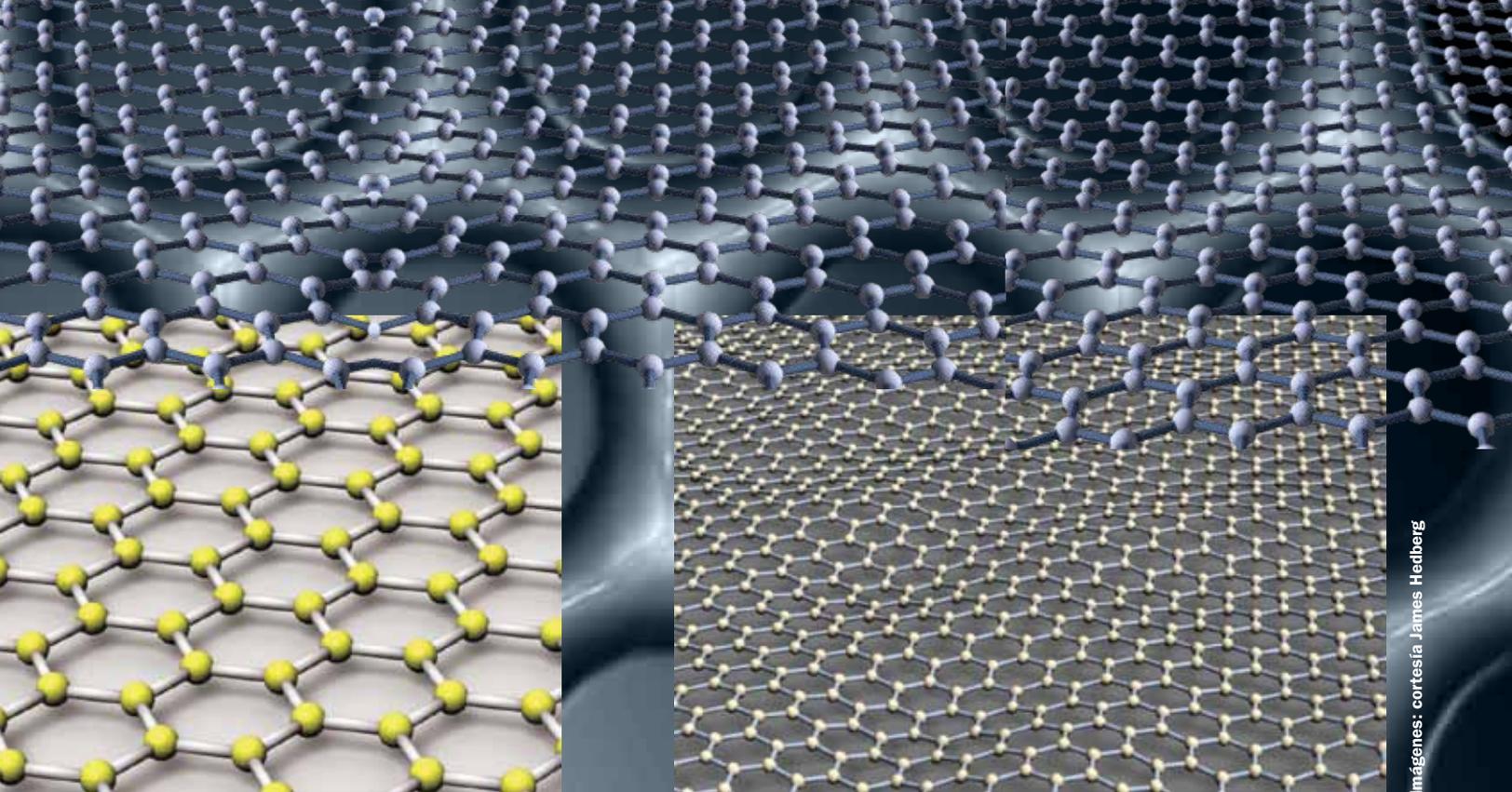
Las pantallas flexibles que quizá pronto invadan todo son posibles gracias a uno de los elementos químicos más comunes en la Tierra —el carbono—, pero particularmente a una de sus presentaciones más insólitas: el *grafeno*.

Las personalidades del carbono

La punta de un lápiz es de grafito. Este material está hecho de láminas superpuestas de átomos de carbono unidos en formación hexagonal, como las celdas de un panal de abejas. Al correr el lápiz sobre el papel, el grafito se va deshojando, dejando atrás una estela gris de carbono cristalino. Desde hace algunos años se llama *grafeno* a las láminas individuales de grafito, y a veces también a cualquier capa suficientemente delgada de este material.

Pese a ser en esencia la misma sustancia (carbono en hexágonos), el grafito y el grafeno tienen propiedades físicas completamente distintas. Esto es similar a lo que ocurre con el diamante, también hecho únicamente de carbono y sin embargo muy distinto al grafito en propiedades y en usos.

El grafito se usa principalmente en las minas de los lápices, en los reactores nucleares para absorber neutrones y moderar el ritmo de reacción y para fabricar acero. En cambio, los diamantes se utilizan para cortar metales, redirigir rayos láser y



Imágenes: cortesía James Hedberg

proponer matrimonio. Expresado con un aforismo, el diamante es “simple carbono que supo cómo manejar el estrés”, ya que naturalmente sólo se forma si existen presiones de unas 50 000 veces la presión atmosférica y temperaturas del orden de 1000 °C. El diamante es miles de veces más caro que el grafito. Por el momento, lo mismo puede decirse del grafeno.

Grafito y cinta adhesiva

La historia del grafeno se remonta al siglo XIX, cuando se descubrió la estructura laminar del grafito. En los años 40 se tomaron las primeras imágenes con microscopio electrónico de capas de grafito muy delgadas y en 1962 se realizó el primer estudio detallado de esta estructura. Sin embargo, por mucho tiempo la existencia de capas de grafito de un átomo de espesor permaneció en el campo de la teoría.

En 2004 los físicos Andre Geim y Konstantin Novoselov, de la Universidad de Manchester, lograron obtener láminas de grafeno por medio de un proceso físico sencillísimo, que consiste en desprenderlas del grafito con cinta adhesiva transparente. Una vez obtenido

el grafeno, Geim y Novoselov fabricaron con él un tipo especial de transistor y llevaron a cabo muchos experimentos para explorar sus propiedades físicas, en particular el comportamiento de las corrientes eléctricas en el grafeno. Esto desencadenó un auge mundial de investigaciones sobre el grafeno que no da señales de disminuir. En 2009, apenas cinco años después del descubrimiento del grafeno, se publicaron 3000 artículos de investigación sobre este material y se tramitaron 400 patentes. Geim y Novoselov recibieron por sus investigaciones con grafeno el premio Nobel de física en 2010, así como el honor de ser nombrados *caballeros* por la reina de Inglaterra.

Material maravilloso

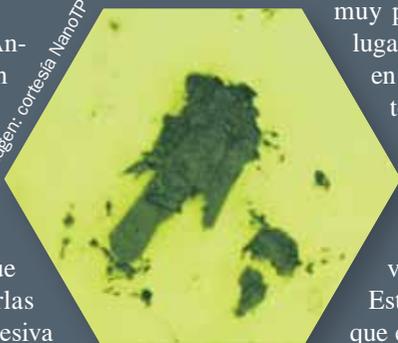
Lo que hace tan valioso al grafeno es un conjunto de propiedades físicas muy particulares, en primer lugar por sus magnitudes y en segundo por encontrarse todas en un solo material.

En 2008, James Hone, Jeffrey Kysar, Changgu Lee y Xiaoding Wei, de la Universidad de Columbia, Estados Unidos, mostraron que el grafeno es el material más resistente a la tracción.

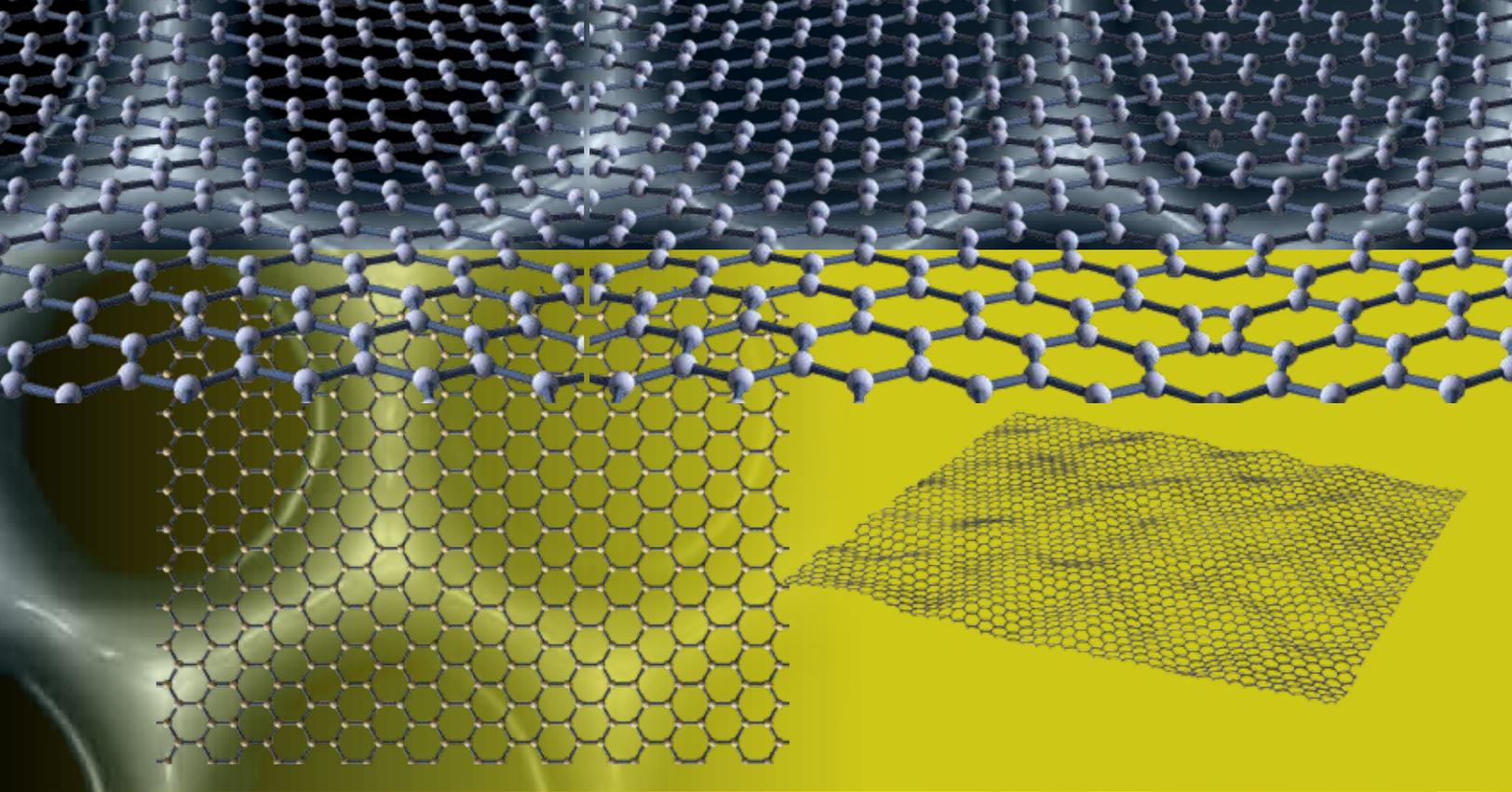
Sus experimentos consistieron en medir la carga máxima que resiste sin romperse una capa de grafeno puro (sin defectos en la red de hexágonos de carbono). Para obtener capas de grafeno de un átomo de espesor, los investigadores usaron el método de la cinta adhesiva de Geim y Novoselov. Luego pusieron las láminas de grafeno sobre una serie de hoyos microscópicos (de 1.5 millonésimas de metro de diámetro) en una placa de silicio, tapándolos como si fuera la membrana de un tambor. Usando un microscopio de fuerza atómica con una sonda con punta de diamante de 20 nanómetros de diámetro (un nanómetro es una millonésima de milímetro), los investigadores agujerearon los diminutos tambores. Con esto pudieron medir las propiedades elásticas del grafeno y determinar indirectamente la resistencia a la ruptura de este material. La resistencia del grafeno es la más grande que se conoce hasta hoy. James Hone hace una comparación para darnos una idea de su magnitud: para agujerear con la punta de un lápiz una capa de grafeno puro de 0.1 milímetro de espesor (comparable en espesor a una capa de plástico para envolver) necesitaríamos ejercer una fuerza igual al peso de un auto grande.

Geim, Novoselov y un equipo de investigadores de instituciones rusas y holandesas demostraron que el grafeno

Imagen: cortesía Nanopt



Hojuela de grafito.



conduce la electricidad y el calor mucho mejor que el cobre. En los cables de cobre la corriente fluye en forma de electrones que atraviesan el material. Pero en el cobre los electrones van chocando con los átomos, lo que genera calor y le resta energía a la corriente. El equipo de Geim y Novoselov demostró que en el grafeno los electrones fluyen a velocidades comparables a la de la luz y sin impedimentos, casi como si fueran luz atravesando un material transparente. El grafeno ya se está considerando como sustituto del co-

bre para conducir la electricidad entre los componentes electrónicos de las computadoras y otros aparatos. Combinado con un sustrato de dióxido de silicio, el grafeno también podría usarse para enfriar estos aparatos, que generan más calor mientras más compactos son (por eso las computadoras portátiles y los teléfonos inteligentes se calientan tanto).

Por si fuera poco, el grafeno puede producir electricidad en ciertas circunstancias y ya se ha usado para fabricar celdas solares, así como pantallas sen-

sibles al tacto. Recientemente un equipo de investigación en Estados Unidos demostró que el “material maravilloso”, como se llama al grafeno con mucha frecuencia, es ideal para fabricar láseres y amplificadores ópticos para las redes de telecomunicaciones.

Presente y futuro del grafeno

La aplicación más cercana en el terreno del reemplazo de las tecnologías actuales consiste en usar grafeno en vez de silicio para fabricar transistores mucho más eficientes y rápidos, lo que podría aumentar la capacidad y la velocidad de las computadoras.

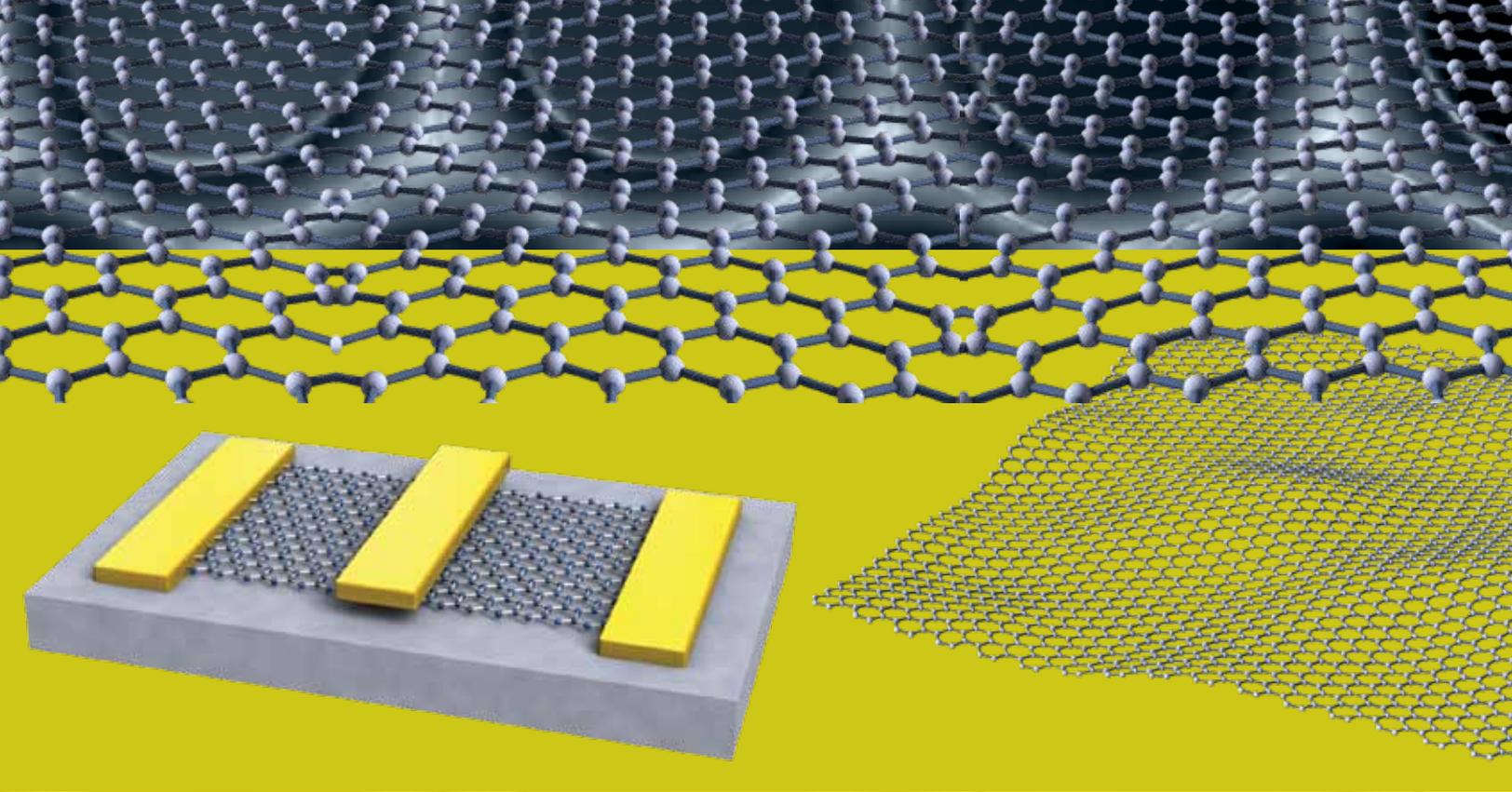
Con el grafeno se podrán fabricar también baterías para celular o para computadora portátil. Las baterías actuales para estos dispositivos tienen un tiempo de vida después del cual ya no se cargan. Se ha demostrado experimentalmente que las baterías de grafeno duran hasta 10 veces más: así, una batería de computadora duraría 20 años en lugar de dos. Y la carga completa de una batería podría durar hasta 100 horas. Otro tipo de batería, que se está desarrollando en la Universidad Politécnica de Hong Kong, usará el calor ambiental como fuente de energía. Según sus creadores, este aparato capta la energía térmica de una solución de iones y la convierte en electricidad.

Los primos del grafeno

El carbono es un elemento químico muy versátil: aun sin combinarse con ningún otro elemento puede formar sustancias completamente distintas, como el grafito, el carbón y el diamante. En 1985, Richard Smalley, Robert Curl, James Heath, Sean O'Brien y Harold Kroto, de la Universidad de Rice, en Estados Unidos, prepararon moléculas esféricas hechas de 60 átomos de carbono (C_{60}). Llamaron a esta variación del carbono “buckminsterfullereno” en honor al arquitecto Buckminster Fuller, inventor de los domos geodésicos, estructuras parecidas a las esferas del equipo de la Universidad de Rice. Por este trabajo de investigación Kroto, Smalley y Curl fueron galardonados con el premio Nobel de química en 1996.

En 1991 el físico japonés Sumio Iijima identificó otra estructura hecha únicamente de carbono: los “nanotubos”, de forma cilíndrica. Los nanotubos ya se usan en la industria. Se añaden a ciertas materias primas para formar un material compuesto más resistente, pero no han dado todavía los frutos que en la época de su descubrimiento se pensó que podrían brindar. Sus primas, las esferas de (C_{60}), tampoco han estado a la altura de lo que se esperaba de ellas. El grafeno, en cambio, ya se está aplicando. Aun podría ser que no se cumpla todo lo que se espera de este nuevo “material maravilloso”, pero éste ya ha rebasado con mucho a sus primos en aplicaciones reales.

—Sergio de Régules



Si el aparato funciona, lo cual aún está en duda, podría servir para alimentar de electricidad a los órganos artificiales, recargándose a partir del calor corporal. También podría usarse como fuente de energía renovable.

En un número especial de junio de 2012, la revista *Physics World* enumera cosas que ya se pueden hacer con grafeno: por ejemplo, usarlo como colador ultramicroscópico para filtrar hebras de ADN, lo que aportaría nuevas técnicas para descifrar secuencias genéticas; o aprovechar su capacidad de absorber y emitir radiación de altísima frecuencia para usarlo como filtro y como detector de radiación para nuevos aparatos de imagenología en medicina, así como en detectores de metales para aeropuertos (la radiación de ultra alta frecuencia es más penetrante que los rayos X y no daña los tejidos).

En otro artículo, publicado en la revista *Nature*, se prevé para el grafeno un futuro cercano en aplicaciones como pantallas sensibles al tacto, capacitores, baterías, celdas de combustible (que producen energía eléctrica a partir del hidrógeno) y pantallas flexibles.

La conductividad eléctrica sin par del grafeno, su elasticidad y su resistencia extrema ya han sido aprovechadas por distintas compañías de aparatos electrónicos

Más información

- www.investigacionyciencia.es/Archivos/09-10_Guinea.pdf
- www.mundonano.unam.mx/pdfs/mundonano2.pdf
- http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Expo9_19728.pdf

para desarrollar pantallas flexibles que se podrán enrollar, comprimir y expandir. Es muy posible que toda la tecnología de los *tablets* y los lectores de libros electrónicos se transforme con la introducción del grafeno, y lo mismo puede decirse de la industria de los videojuegos. También se espera que las computadoras portátiles dejen de ser rectangulares y se puedan enrollar facilitando su transporte; o que las televisiones no tengan que ocupar mucho lugar en nuestras salas, sino que se puedan comprimir y expandir en función de las necesidades de espacio. Y esto puede ser sólo el comienzo de muchos cambios en la próxima década, sin contar con otras excentricidades que muy probablemente se les ocurrirán a los diseñadores de aparatos novedosos. ¿Se cumplirán todas?

Costos y beneficios

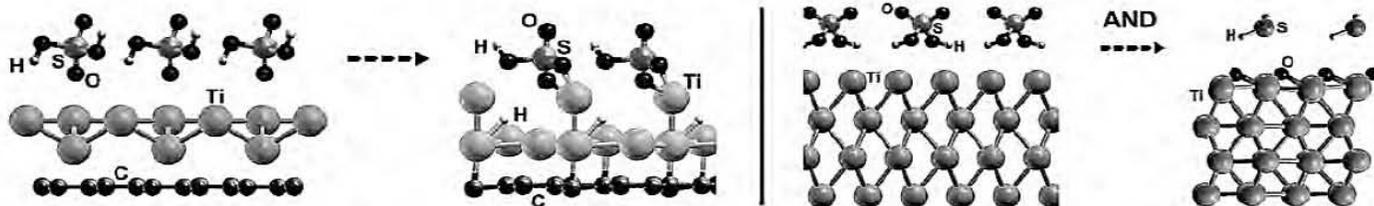
Para todos los que estamos acostumbrados a los altos precios de la tecnología, hay una

gran noticia: producir grafeno puede llegar a ser barato. Actualmente la producción de grafeno a gran escala sigue siendo el mayor obstáculo. Si bien ya se conocen bien las propiedades de este material y a qué se deben y muchas de las aplicaciones han sido puestas en práctica, hasta que no se resuelva el problema de producirlo a gran escala es improbable que veamos la revolución tan esperada. Con todo, en pruebas preliminares se ha mostrado que este material se puede producir a bajo costo, pues sólo hace falta metano (gas altamente abundante en la Tierra) para fabricarlo.

Por lo pronto hay una gran inversión de capital en la investigación del grafeno, lo cual es alentador. Con un poco de suerte en menos de cinco años seremos la primera generación que pueda enrollar su celular o que maneje un coche de hidrógeno con baterías a base de grafeno. 🗨️

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

Guillermo Murray Prisant, quien tiene una maestría en psicología, se ha desempeñado como escritor, periodista, divulgador y fotógrafo. Entre sus libros destacan *Mundo insecto*, *Huellas de dinosaurio* y *Leyendas del Popocatepetl*.



Predicción de la captura del ácido sulfúrico en superficies de grafeno-titanio y titanio puro, respectivamente. Imágenes: cortesía de Luis Fernando Magaña.

Avances teóricos relacionados con la captura de contaminantes

Investigadores del Instituto de Física exploran también una forma de encapsular fármacos radiactivos

FERNANDO GUZMÁN

Hasta la fecha se conocen cinco formas alotrópicas del carbono: el grafito (de donde se obtiene el material conocido como grafeno), el diamante, los fullerenos, los nanotubos de carbono y los carbinos.

Investigadores del Instituto de Física, encabezados por Luis Fernando Magaña, diseñan superficies de grafeno para adsorber contaminantes como el monóxido y el dióxido de carbono; fullerenos para encapsular fármacos radiactivos y dirigirlos a tejidos específicos, y nanotubos de carbono para almacenar combustibles como hidrógeno, o agua.

"Todo esto lo hacemos a nivel teórico, por medio de cálculo numérico, con el apoyo de la Coordinación de Supercomputo de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación de la UNAM", aclaró el exdirector de la Facultad de Ciencias.

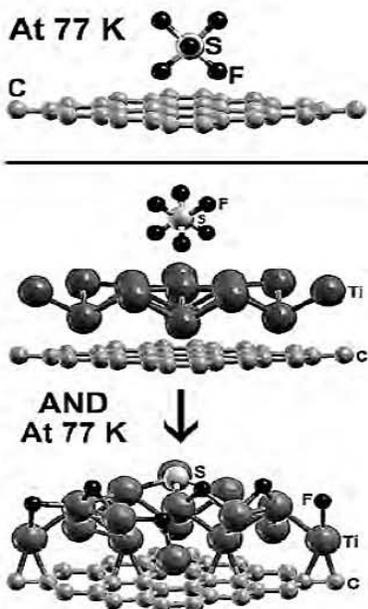
Contaminantes

Magaña ha publicado trabajos sobre adsorción de contaminantes tales como el hexafluoruro de azufre (un subproducto de la industria del aluminio y de la distribución de energía eléctrica y electrónica) y el monóxido y el dióxido de carbono.

También ha diseñado superficies de grafeno para fisorber estos compuestos (luego se pueden calentar para liberarlos y seguir usando el grafeno para limpiar la atmósfera o algún ambiente específico).

"El hexafluoruro de azufre es unas cien mil veces más poderoso como contaminante que el dióxido de carbono y puede permanecer en la atmósfera hasta tres mil años."

Y gracias a sus estudios teóricos, ha podido predecir que el grafeno dopado con titanio es capaz de adsorber el ácido sulfúrico, que emiten las industrias a la atmósfera y que al caer con la lluvia corroe vidrio, metales y la piel de las personas.



Predicción de la captura del hexafluoruro de azufre en superficies de grafeno puro y grafeno-titanio, respectivamente.

"Además, el grafeno decorado con titanio permite fisorber y quimisorber el dióxido y el monóxido de carbono, así como el metano, para retirarlos de la atmósfera", añadió.

En esa línea de investigación, los científicos universitarios estudian cómo anclar semfullerenos y seminanotubos de carbono en grafeno. Con ese propósito usan grafeno y una semicafia partida por el eje para poner en ella átomos de titanio y generar una superficie extendida que sirva para atrapar partículas contaminantes.

Igualmente, Magaña ha corroborado teóricamente que, al interactuar con un átomo de titanio, un buckminsterfullereno (C_{60}) partido a la mitad rompe el ozono (gas muy oxidante e irritante) en un átomo y una molécula de oxígeno puro;

así pues, convertido en semfullereno, podría servir para eliminar ese gas en la atmósfera de la Ciudad de México.

Transportación de fármacos

Para tratar, por ejemplo, el cáncer de tiroides se inyecta al paciente yodo radiactivo, el cual se aloja de manera natural en esa glándula y desde ahí bombardea al tumor.

Magaña y sus colaboradores exploran la posibilidad de encapsular fármacos radiactivos en fullerenos y dirigirlos a tejidos específicos.

"Al encapsular yodo radiactivo en un buckminsterfullereno y ponerle a éste átomos de calcio por fuera, podríamos lograr que dicho fullereno se fijara con su carga activa en un hueso con cáncer o que, decorándolo convenientemente con otros átomos, se dirigiera a otros tejidos específicos", explicó.

Con el encapsulamiento de fármacos radiactivos para tratar distintos tipos de cáncer en determinados órganos, se lograría un tratamiento más eficiente de los tumores cancerosos.

Por otro lado, los universitarios analizan también las posibilidades del grafeno y de nanotubos de carbono dopados con titanio y otros elementos para almacenar hidrógeno y agua, muy importantes en los ámbitos energético y agrícola.

En el diseño de superficies de grafeno, fullerenos y nanotubos de carbono, Magaña ha empleado titanio porque es una sustancia catalítica por excelencia, no causa rechazo en el cuerpo humano (se utiliza en prótesis) y es más barato que el paladio, platino y oro.

Como el grafeno-titanio genera materiales con propiedades insospechadas, especialistas de todo el mundo investigan su uso en la solución de problemas ambientales o médicos.

Debe tenerse en cuenta que entre la predicción teórica y el desarrollo experimental se abre siempre una brecha. "En efecto, al dar a conocer las leyes de la mecánica clásica en el siglo XVII, Newton ya predecía la posibilidad de enviar un proyectil a la Luna, Marte o fuera del sistema solar. Es decir, desde el punto de vista conceptual, formal, eso ya estaba predicho y resuelto, pero primero había que formar ingenieros, invertir grandes cantidades de dinero y desarrollar tecnologías muy complejas para levantar del suelo un cohete espacial y así llegar al espacio exterior. Algo semejante ocurre con la física teórica de superficies de carbono, guardando las debidas proporciones, aunque la brecha tecnológica es inmensamente menor", finalizó Magaña. *g*

Anexo 4.

Actividades y baremo de evaluación de la secuencia piloto

ANEXO 4

ACTIVIDADES Y BAREMO DE EVALUACIÓN DE LA SECUENCIA PILOTO

Como fue descrito en el tercer capítulo, la fase piloto o primera aproximación en la comunicación de las NC estuvo basada en la aplicación del cuestionario C.R.I.T.I.C. Un instrumento elaborado por las académicas Begoña Oliveras y Neus Sanmartí (2009;2012 y 2013)¹ de la Universidad Autónoma de Barcelona. La metodología propuesta por estas investigadoras busca fomentar una interpretación crítica de temáticas curricularmente relevantes mediante la lectura de todo tipo de textos.

En este apartado, se muestran las actividades que se siguieron en la fase de pilotaje de esta investigación. Asimismo, se presenta el baremo utilizado para evaluar el aprovechamiento escolar, es decir, los indicadores de aprendizaje que se basan los resultados presentados sobre esta etapa metodológica en el quinto capítulo de esta tesis.

A4.1 Secuencia de actividades planteadas en la fase de pilotaje

i. Fase previa a la lectura

Actividad I. Activación de conocimientos previos

1. ¿Puedes identificar de que fuente o editorial provienen los textos? ¿Quién es el autor o autores de cada texto?
2. ¿Qué sabes tú sobre las fuentes donde fueron publicados los textos?
3. ¿De qué crees que tratan estas lecturas?
4. ¿La temática expuesta crees que tiene relación con el curso de Química IV? ¿Por qué?

Tiempo máximo: 20 minutos

¹ Oliveras, B. Sanmartí, N. 2009. La lectura como medio para desarrollar el pensamiento crítico, *Educación Química*, vol. 20(1), 233-245.

Oliveras, B., Márquez, C., y Sanmartí, N. 2012. Aprender a leer críticamente: La polémica de los bañadores de Speedo, *Alambique*, No. 70, 37-45.

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.

ii. *Lectura y análisis de los textos*

a) Lectura rápida: aclaración de dudas (sesión 1)

Actividad II. Aclaración de dudas

- Anoten frases, palabras o expresiones que no pudieron entender después de dar una primera lectura rápida de los textos.

Aclaración de dudas de todos los equipos en una discusión grupal

- Después de la discusión grupal. Respondan las dudas que vertieron con sus propias palabras.

Tiempo aproximado: 30 minutos

b) Análisis del contenido de los textos (sesión 1)

Se les pidió a los estudiantes que formaran equipos de cuatro a cinco integrantes y llevar a cabo una segunda lectura grupal más detallada de cada publicación, con el objetivo de que analizarán la información a través de los siguientes ejes:

- Identificación del tema central o problema que expone cada artículo y los contenidos que guardan relación con el curso de química (elemento “*Consigna*” del CRITIC).
- Buscar argumentos, datos y evidencias que aporta cada texto para justificar la información que presenta (elemento “*Información*” del CRITIC).
- Analizar la coherencia en la organización de la información y el rigor científico en su tratamiento (elemento “*Información*” del CRITIC).
- Reconocer las conclusiones a las que llega el autor y su posicionamiento respecto a la temática expuesta (elementos “*Rol del autor*” e “*Ideas*” del CRITIC).

Actividad III. Análisis de contenido

Contesten de forma cooperativa el siguiente cuestionario para cada uno de los artículos revisados en clase:

Artículo 1. Grafeno: ¿La siguiente revolución tecnológica?	Artículo 2. Avances teóricos relacionados con la captura de contaminantes
1. ¿Cuál es el tema o problema central que trata el texto? Explícalo brevemente	1. ¿Cuál es el tema o problema central que trata el texto? Explícalo brevemente
2. Identifica los temas o contenidos que tienen relación con la Química. ¿Por qué crees que es relevante la lectura de este artículo en este curso?	2. Identifica los temas o contenidos que tienen relación con la Química. ¿Por qué crees que es relevante la lectura de este artículo en este curso?
3. ¿Qué datos o experimentos se ofrecen para respaldar la información? (descríbelos brevemente)	3. ¿Qué datos o experimentos se ofrecen para respaldar la información? (descríbelos brevemente)
4. ¿Existe coherencia entre títulos, subtítulos, imágenes e información en el texto? Justifica tu respuesta	4. ¿Existe coherencia entre títulos, subtítulos, imágenes e información en el texto? Justifica tu respuesta
5. ¿Consideras que en esta lectura se hace buen manejo de conceptos y temas científicos? ¿por qué?	5. ¿Consideras que en esta lectura se hace buen manejo de conceptos y temas científicos? ¿por qué?
6. ¿A qué conclusión llega el autor de este artículo?	6. ¿A qué conclusión llega el autor de este artículo?
7. ¿Por qué crees que el autor o autores realizaron esta publicación?	7. ¿Por qué crees que el autor o autores realizaron esta publicación?

Tiempo aproximado: 60 minutos

c) **Problematización Disciplinar (sesión 2)**

Se solicitó a los estudiantes que se reunieran en equipo nuevamente para analizar la lectura proveniente de la gaceta-unam.

Actividad IV. Problematización del texto periodístico

- 8. Calistenia Conceptual.** Dado que las nanoestructuras de carbono —grafeno, nanotubos de carbono (NTC) y fullerenos— provienen directa o indirectamente del grafito poseen características químicas comunes en su descripción. En función de lo revisado en el curso, señala estas características comunes llenando la siguiente tabla:

Actividad IV. Problematización del texto periodístico

Tabla 1. Descripción química del grafito y las nanoestructuras de carbono (NC)

<i>Molécula</i>	<i>No. de dominios electrónicos alrededor de cada carbono</i>	<i>Tipo de dominios electrónicos</i>	<i>Geometría</i>	<i>Ángulos de enlace</i>	<i>hibridación</i>
Grafito y NC					

9. Si el grafito y el grafeno comparten algunas características químicas en su descripción puntual. Contesta:

- ¿Por qué difieren tanto en sus propiedades físicas al grado de ser alótropos distintos del elemento carbono? (**clave:** piensen en la estructura global de ambos materiales y el orden de magnitud donde están descritos).

Tiempo máximo: 20 minutos

10. En el artículo publicado en gaceta-UNAM, se menciona el potencial que tiene la investigación en nanotecnología del carbono para eliminar contaminantes de la atmósfera. Para comprender de forma adecuada estos avances, es necesario poner en marcha algunos conocimientos adquiridos durante el curso de Química IV.

Considerando lo anterior, respondan de forma grupal los siguientes reactivos (no contesten precipitadamente, reflexionen sobre cada uno de sus respuestas):

- a) Enumeren los contaminantes atmosféricos que se mencionan en esta publicación.
- b) Escriban la fórmula química de cada uno de los contaminantes que identificaste en el inciso anterior. Observen detenidamente el tipo de elementos químicos que los constituyen y, en función de ello, expliquen el carácter covalente que tienen estas sustancias.
- c) Tracen la estructura de Lewis de los contaminantes: monóxido de carbono, dióxido de carbono, ozono y ácido sulfúrico. ¿Qué tienen en común todas estas moléculas orgánicas?
- d) Para que los contaminantes se fijen al grafeno es necesario incrustar en su superficie átomos de titanio para funcionalizarlo. Este metal de transición actúa generalmente como un “**ácido de Lewis**” en las reacciones que cataliza. Considerando lo anterior contesta: *¿Cuál es la principal propiedad química de un ácido de Lewis?* Busquen información en la red para elaborar su respuesta (cítela).
- e) ¿Podrían inferir que proceso químico de los estudiados recientemente en clase ocurriría si el CO, CO₂, H₂SO₄ y O₃ se fijaran en el grafeno por la acción catalítica del titanio? Justifiquen su respuesta.
- f) Realicen una investigación breve en la red sobre: *¿Cuál es el fundamento científico del proceso de adsorción?* y *¿Cuál es la diferencia principal entre adsorción química (quimisorción) y adsorción física (fisorción)?* Cita por lo menos dos fuentes donde obtuviste información relevante, asegúrate que estas provengan de espacios académicos reconocidos.

Actividad IV. Problematización del texto periodístico

- g)** Relacionen las respuestas de los incisos b), c), d), e) y f) para construir una explicación coherente y global de la fijación de las moléculas CO, CO₂, H₂SO₄ y O₃ en el grafeno a través del proceso de adsorción química. Reflexionen, discutan y redacten su explicación de forma clara y concisa (10 renglones máximo)
- h)** Que otras aplicaciones menciona este texto que se están realizando sobre nanoestructuras de carbono en el IFUNAM. Descríbanlas brevemente.
- 11.** Las investigaciones que se reportan en esta publicación no son aún una realidad, sino predicciones teóricas realizadas a través de modelos y cálculos computacionales. Discutan en equipo por unos minutos sobre: ¿Cuál es el valor de estas investigaciones para la química? Elaboren una redacción clara y breve de su respuesta (10 renglones como máximo).

Tiempo máximo: 90 minutos

d) Problematización contextual (sesión 3)

Se indicó a los estudiantes trabajar nuevamente en equipo (se recomienda reorganizar o conformar nuevas agrupaciones) para analizar el artículo divulgativo: *Grafeno ¿La siguiente revolución tecnológica?* Los reactivos diseñados para su análisis se muestran a continuación:

Actividad V. Problematización del texto divulgativo

- 12.** Los autores del artículo: *grafeno ¿La siguiente revolución tecnológica?* Sostienen que esta nanoestructura ya es una realidad en los campos de la investigación, el desarrollo y la innovación tecnológica (I+D+I) “¿Es cierta esta aseveración?”

Para responder este cuestionamiento realicen una investigación periodística que les permita corroborar esta afirmación.

AYUDA. Una forma de monitorear el impacto tecnológico e innovador de un producto científico es a través de buscar información en torno a cuatro parámetros:

- El no. de patentes que se han desarrollado en torno a un producto científico en estudio (el grafeno).
- El financiamiento que recibe la investigación científica y tecnológica del producto en cuestión (rentabilidad).
- Las aplicaciones comerciales o beneficios reales que ofrece a la sociedad.
- Los problemas o restricciones asociados.

Tiempo máximo: 90 minutos

iii. *Comparación de textos y opinión sobre el trabajo emprendido (sesión 4)*

En esta sección, los alumnos realizaron una breve comparación de los textos utilizados y ofrecieron su opinión sobre la estrategia de lectura llevada a cabo. A diferencia de lo realizado con anterioridad, estas actividades se efectuaron de forma individual.

Actividad VI. Comparación de textos y opinión del trabajo metodológico emprendido

Contesta de forma individual las siguientes preguntas, las cuales, tienen como objetivo conocer tu percepción sobre las publicaciones revisadas y tu opinión sobre la actividad en general.

13. ¿Qué diferencias encuentras en la forma que es presentada la información en ambos artículos? Realiza tu comparación tomando en cuenta los siguientes incisos:

- a. Extensión y temática abordada.
- b. Uso de recursos visuales.
- c. Narrativa (claridad en el lenguaje, referencia a datos históricos, relevancia del tema en la vida cotidiana, coherencia informativa y persuasión).

14. Considerando la comparación que realizaste en la pregunta anterior responde: ¿Cuál de las dos lecturas te agrado más? Justifica tú respuesta

15. ¿Consideras que esta actividad en general contribuye en tu formación sobre química orgánica? ¿Por qué?

16. ¿Te gustaría seguir emprendiendo este tipo de metodología para comprender temas científicos de interés en el transcurso de tu educación y/o en la vida cotidiana? Justifica tú respuesta.

Tiempo estimado: 20 minutos

iv. *Conclusión (elaboración de un ensayo final —sesión 4—)*

Como cierre, se pidió a los estudiantes que redactarán un texto individual sobre la relevancia química y social del tema. En la metodología CRITIC se considera que un alumno muestra su verdadera comprensión y posicionamiento frente a un tema, cuando es capaz de organizar y defender sus ideas sobre el mismo. Al igual que secciones anteriores, se proporcionaron pautas que sirvieran como apoyo en esta labor (elemento “*Conclusión*” del CRITIC).

Actividad VII. Conclusión

Como cierre del trabajo emprendido, redacta un texto con tus propias palabras donde indiques la importancia o significado que tiene el estudio de la nanotecnología del carbono para la química y la sociedad. Pautas para construir una argumentación:

- Mi idea es....
- Las razones que justifican esta idea son.....
- Los datos o evidencias que daría para convencer a otros que no están de acuerdo con mi posición serían.....
- Y creo que mis razones y evidencias son buenas porque....
- Por lo tanto, concluyo que.....

Tiempo Máximo: 80 minutos

A4.2 Baremo de evaluación del desempeño escolar con el C.R.I.T.I.C.

En los siguientes recuadros, se presenta el baremo de rendimiento utilizado para evaluar el aprovechamiento en cada una de los elementos que constituyen al instrumento CRITIC. Este recurso de evaluación fue tomado de Oliveras y Sanmartí (2012)² y, elaborado a partir de la propuesta de Paul y Elder (2006)³.

Rúbrica del elemento Consigna

1. Citan información no relevante o no reelaboran la información.
2. Solamente identifican una de las ideas o conceptos clave.
3. Hacen referencia a más de una idea o concepto clave.
4. Expresan con sus propias palabras la información más importante. Identifican algunas de las ideas y conceptos clave que se utilizan de manera comprensible. Hacen interacciones entre ideas.
5. Expresan con sus propias palabras la información más importante de manera comprensible. Identifican todas las ideas y conceptos clave, que se utilizan de una manera comprensible.

Rúbrica del elemento Rol del Autor

1. Irrelevante.
2. No se puede inferir del texto.
3. Se intuye pero no comunica bien la idea ya sea por mala redacción, ya sea porque no concreta.
4. Comunica bien el propósito que cree que tiene el autor.
5. Identifica el propósito del autor (informar más crear polémica) y lo justifica correctamente.

² Oliveras, B., Márquez, C., y Sanmartí, N. 2012. Aprender a leer críticamente: La polémica de los bañadores de Speedo, *Alambique*, No. 70, 37-45.

³ Paul, R. & Elder, L. 2006. *The Miniature Guide to Critical Thinking-Concepts & Tools*. The Foundation for Critical Thinking. Retrieved May 20, 2014 from: https://www.criticalthinking.org/files/Concepts_Tools.pdf

Rúbrica del elemento Ideas

1. No contestan o es irrelevante lo que escriben.
2. Hacen suposiciones no razonables en función de evidencias y no identifican el punto de vista del autor ni justifican el punto de vista expresado.
3. Citan frases textuales del texto sin inferir el punto de vista del autor.
4. Hacen suposiciones razonables, identificando el punto de vista del autor pero no lo justifican.
5. Hacen suposiciones razonables e identifican el punto de vista del autor a partir del texto.

Rúbrica del elemento Test

1. Plantean experimentos irrelevantes.
2. Plantean experimentos demasiado generales.
3. Plantean experimentos para entender el porqué del problema.
4. Para comprobar su idea, plantean un experimento basado en una de las variables.
5. Para comprobar su idea, plantean un experimento basado en todas las variables significativas.

Rúbrica del elemento Información

1. Validan la información por confianza en el periódico (no juzgan la credibilidad de la fuente).
2. Citan informaciones del texto con un razonamiento no elaborado o impreciso, o bien sacan conclusiones basadas en informaciones del texto no relevantes.
3. Hacen referencia a si el texto cita pruebas o no, o si las informaciones que aporta tienen validez científica, sin más explicaciones o dando argumentos poco elaborados, o buscan pruebas para validar la información del texto.
4. Extraen conclusiones fundamentadas a partir de la información aportada por el texto (hechos, datos, argumentos científicos, pruebas...), sin distinguir el tipo de fuente (opinión, argumento científico...).
5. Distinguen entre hechos, argumentos científicos y opiniones del texto. Extraen conclusiones teniendo en cuenta la información de que disponen y aplicando un razonamiento sensato, y demuestran capacidad para analizar y evaluar objetivamente la información.

Rúbrica del elemento Conclusión

1. Los estudiantes no confrontan sus conocimientos con la información que cita el texto. No activan sus conocimientos de ciencia y por lo tanto no saben argumentar si el bañador contribuye o no a la mejora de la velocidad.
2. Los estudiantes llegan a conclusiones a partir de sus conocimientos de ciencia sin tener en cuenta la información del texto.
3. Los estudiantes activan sus conocimientos de ciencia y los confrontan con información del texto pero no muestran capacidad para argumentar acuerdos y desacuerdos.
4. Confrontan la información del texto con sus conocimientos científicos y muestran acuerdos o desacuerdos razonables sin fundamentarlos explícitamente.
5. Confrontan la información del texto con sus conocimientos científicos, mostrando capacidad para argumentar de forma fundamentada acuerdos y desacuerdos.

Anexo 5.

**Indicadores de aprendizaje
utilizados en la evaluación de la
propuesta metodológica.**

ANEXO 5

INDICADORES DE APRENDIZAJE EN LA EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA DE COMUNICACIÓN DE LAS NC

A5.1 Evaluación de los aprendizajes obtenidos durante el trabajo cooperativo

En estas páginas, se presentan los indicadores de aprendizaje que fueron utilizados para valorar de manera cualitativa el desempeño de los estudiantes durante el proceso de análisis textual propuesto en esta investigación. Estos son el resultado de una investigación denominada proyecto *Newsroom* efectuada en el departamento de educación de la Queen's University en Irlanda del Norte—McClune (2006)¹—. El marco de análisis, es el producto de una serie de entrevistas realizadas a más de cuarenta expertos involucrados en el campo de la educación y la comunicación científica. En conjunto representan una propuesta sistemática para fomentar, reconocer y evaluar el pensamiento crítico que deviene de la lectura de fuentes mediáticas en el contexto de la educación científica.

Los indicadores son agrupados en cuatro perfiles o categorías: 1) conocimientos sobre ciencia, 2) destrezas alfabéticas, 3) conocimientos sobre la ciencia en los medios y 4) actitudes. Es importante mencionar que, estos dominios no son independientes, sino que están correlacionados y deben ser activados de manera simultánea durante el proceso interpretativo de una temática en particular. Aunado a ello, se considera que los aprendizajes que demanda cada uno de estos perfiles es evolutivo, por tal, la forma más adecuada para su valoración, es en un esquema cualitativo basado en tres niveles de desempeño: básico, medio y avanzado. El nivel que puede alcanzarse dependerá de la edad, las habilidades, el nivel de estudios y, sobre todo, de la experiencia previa de los alumnos con la lectura de recursos textuales provenientes de los medios de comunicación.

La tipología de aprendizajes que se presenta a continuación, fue extraída de una traducción del libro "*Developing Scientific Literacy: Using News Media In The Classroom*" (Jarman y McClune, 2011) por el Ministerio de Educación Cultura y Deporte de España.

I. Conocimientos sobre la Ciencia

Los especialistas encuestados coincidieron que, los conocimientos sobre ciencia son fundamentales y marcan una diferencia importante entre extraer únicamente información en los medios y comprenderla críticamente. Por consiguiente, en este marco de análisis se postula promover aprendizajes disciplinares que cubran tres aspectos importantes: a) vocabulario y conceptos, b) investigación y práctica científica (naturaleza de la ciencia) y c) la relación ciencia y sociedad (enfoque CTS-A).

¹ McClune, W. 2006. *Teaching science today for living tomorrow: a conceptual framework and pedagogical model for promoting students' critical response to science in the news*. Tesis Doctoral. Queen's University of Belfast.

Tabla 1. Niveles de aprendizaje de la categoría: Conocimientos sobre la Ciencia

Conocimientos sobre Ciencia	Nivel básico (1)	Nivel Medio (2)	Nivel avanzado (3)
a) Conocimientos disciplinares o conceptuales	<ul style="list-style-type: none"> Los estudiantes construyen sus conocimientos disciplinares 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 como se desarrolla la ciencia en las comunidades científicas, identifican los intereses alrededor de una temática en particular y como 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.

Con respecto a la terminología y los conceptos, se menciona la necesidad de contar con una base conceptual en el estudiantado que les permita afrontar el lenguaje disciplinar, interpretar datos, modelos y gráficas presentes en los espacios informativos en torno a una temática o contenido en cuestión. No obstante, sugieren que esta no debe ser muy profunda o especializada.

En cuanto a investigación y práctica científica, se hace referencia al consenso existente en la literatura sobre lo importante que es impulsar la comprensión de algunos contenidos relacionados con la dimensión racional de la ciencia. Finalmente, se reconoce como crucial que los jóvenes indaguen en torno a las implicaciones éticas, sociales y ambientales que suelen acompañar a la aplicación de productos provenientes de la investigación científica.

II. Habilidades (Destrezas Alfabéticas)

Esta categoría hace alusión al desarrollo y aplicación de una serie de destrezas para acceder y analizar temas de corte científico en los medios de comunicación. Concretamente a habilidades de lectura, escritura e interpretación.

Tabla 2. Indicadores de aprendizaje de la categoría: Destrezas Alfabéticas.

DESTREZAS ALFABÉTICAS
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 importantes, 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 desacuerdo con los puntos de vista presentados en una publicación.

El adecuado desarrollo y puesta en marcha de las facultades contempladas en este perfil empoderan al lector en el análisis de fuentes informales, ya que le permite identificar información relevante, los problemas que trata de exponer y responder una publicación, evaluar la autoridad de las opiniones vertidas por los autores, cuestionar posturas o conclusiones, es decir, trazarse una metodología de investigación que haga posible la construcción de opiniones informadas.

III. Ciencia en los Medios

Los aprendizajes implicados en este perfil hacen referencia al reconocimiento de aspectos básicos y distintivos de los recursos textuales provenientes de la comunicación pública de la ciencia. Esto conlleva, a suscitar la comprensión de que son fuentes de consulta diametralmente diferentes a las utilizadas comúnmente en el salón de clases—manuales y libros de texto—, a tener claro que su función no es educar sino informar o inclusive entretener y a crear consciencia que como todo texto poseen ventajas y limitaciones. Entre estas últimas, se destaca como relevante promover el reconocimiento de su alta carga subjetiva producto de códigos y prácticas que son inherentes al oficio periodístico. Indagar sobre estos aspectos, permite a los estudiantes no aceptar de manera pasiva la información científica presente en los medios de comunicación escrita y comprometerse a obtener de ella, la mejor interpretación posible.

Tabla 3. Niveles de aprendizaje para evaluar la categoría: Conciencia en los Medios

CIENCIA EN LOS MEDIOS
NIVEL BÁSICO (1)
<ul style="list-style-type: none">➤ Los estudiantes deben comprender que, los datos e información sobre un tema, así como el enfoque como es presentada es responsabilidad de su autor o autores.➤ Los estudiantes deben ser conscientes que todo texto tiene virtudes y limitaciones.
NIVEL INTERMEDIO (2)
<ul style="list-style-type: none">➤ Los estudiantes comprenden que los textos informativos responden a intereses editoriales o institucionales, promueven valores e ideas en sus lectores, así como las consecuencias que esto tiene.
NIVEL AVANZADO (3)
<ul style="list-style-type: none">➤ Los estudiantes deben ser capaces de identificar la función de los medios informativos en una democracia (el beneficio que representa la difusión de una pluralidad de ideas en torno a un tema científico o tecnológico en los canales informativos).

IV. Actitudes

El último eje de análisis, se relaciona con el fomento de actitudes, esto es, con el logro de disposiciones como la curiosidad intelectual, el compromiso, el desarrollo de un escepticismo saludable—capacidad de cuestionar sin llegar al extremo de ser destructivos o relativizar de forma exacerbada los contenidos de las fuentes—, mentalidad abierta hacia las fuentes mediáticas y los aprendizajes que se pueden construir con estas, asertividad, gusto por escuchar diferentes puntos de vista y por comunicar ideas.

El reconocimiento y la evaluación del aprendizaje actitudinal, es una labor compleja porque trasciende el ámbito de lo cognitivo. No obstante, su fomento es crucial en el desarrollo de la criticidad, pues como se mencionó en el segundo capítulo de este trabajo, es un tipo de pensamiento con fuertes connotaciones en el proceder tanto intelectual como moral de las personas.

Para promover y valorar actitudes en las clases de ciencias, se recomienda diseñar actividades donde los alumnos tengan que explicitar su posición u opiniones frente a un tema en particular y defenderla. Asimismo, es fundamental llevar un registro minucioso del proceder del estudiantado al intervenir en actividades que impliquen el diálogo, el debate de ideas, la cooperación, la elaboración de proyectos colectivos, etc. Jarman y McClune son conscientes y señalan que, este rubro de evaluación es el menos tangible del modelo operativo propuesto, pero esta condición no imposibilita su importancia y utilidad en el desarrollo del pensamiento crítico.

Tabla 4. Indicadores de aprendizaje para evaluar la categoría: Actitudes

APRENDIZAJES ACTITUDINALES
NIVEL BÁSICO (1)
➤ Los estudiantes deben entusiasmarse e interesarse por descubrir más aspectos de la ciencia en los medios, y entender que estas fuentes pueden alertarlos sobre cuestiones importantes.
NIVEL INTERMEDIO (2)
➤ Los estudiantes deben responder a los contenidos de la ciencia en los medios con una mentalidad abierta, escéptica (saludable o moderada) y una actitud reflexiva.
➤ Los estudiantes deben de reconocer que la ciencia es una parte importante de la vida y la cultura.
NIVEL SUPERIOR (3)
➤ Los estudiantes son capaces de emitir juicios fundamentados sobre cuestiones sociocientíficas.
➤ Desarrollan la confianza y el compromiso suficiente para investigar y construir opiniones informadas sobre un tema disciplinar en cuestión.
➤ Los jóvenes son capaces de tomar decisiones racionales sobre aspectos sociocientíficos de interés (autonomía intelectual).

A4. 2 Rúbrica empleada para la evaluación de la argumentación individual

Monitorear el pensamiento crítico en la educación científica escolar requiere de la valoración de una serie de tareas que impliquen entre otras cosas, la emisión de juicios e inferencias, la adopción de una postura sobre un tema en cuestión, así como la construcción de una cadena de razonamientos en su justificación. Estas aptitudes pueden agruparse y monitorearse en la argumentación. En el contexto de la educación científica, esta labor está centrada en el apropiado uso de conocimientos disciplinares —conceptos, datos e información provista en el aula—, así como en la incorporación de evidencias y garantías al justificar afirmaciones. Así, la calidad de un argumento depende de manera importante de su contenido, estructura y justificación. Los elementos básicos que configuran a la argumentación en el escenario escolar, se pueden agrupar en el marco tradicional de conocimientos, habilidades y actitudes. Tal como se muestra en la figura 1.

Desde una óptica constructivista, los conocimientos implicados en el ejercicio argumentativo dan cauce al lema aprender a aprender, las habilidades concernientes al aprender a hacer y las actitudes al aprender a ser. En concordancia con lo anterior, la valoración de la argumentación depende de la pericia que muestren los estudiantes para movilizar de forma articulada, las capacidades demandadas en estos tres rubros.



Figura 1. Agrupación de los elementos de la competencia argumentativa en el marco de conocimientos, habilidades y actitudes. Imagen tomada de Cedillo y Macías (2012)².

El camino más viable para monitorear las capacidades inherentes a la argumentación, es mediante el establecimiento y seguimiento de rúbricas³. En el caso concreto de este estudio, la utilización de este recurso evaluativo permitió reconocer y valorar los logros conseguidos al respecto en los ensayos conclusión—un escrito que elaboraron los alumnos de forma individual y como cierre del trabajo metodológico emprendido—. La rúbrica utilizada, es una readaptación de un instrumento publicado por Cedillo y Macías (2012). En ella, se contemplan los elementos esenciales que debe considerar un sujeto al exponer de manera coherente y fundamentada una aseveración, argumento o conclusión. Además, permite identificar la asunción de una postura y la actitud hacia una temática en cuestión.

En la construcción del instrumento utilizado para evaluar lo conseguido en materia de argumentación en este trabajo doctoral, se seleccionaron aquellos elementos de la rúbrica original que eran afines con la labor realizada por los estudiantes en sus escritos finales, se readaptaron dos subapartados adicionales—información contextual y actitud reflexiva—, así como algunos indicadores de aprendizaje. De esta forma, la rúbrica utilizada quedó conformada por ocho rubros, los cuales se muestran en la tabla 5. La herramienta de evaluación se probó al analizar una lectura divulgativa⁴ en las primeras semanas del ciclo escolar 2015-2 (febrero del 2015). Siguiéndose una estrategia muy similar a la reportada en esta tesis en lo referente a la construcción y evaluación de argumentos.

² Cedillo, G., Macías, F., y Segura, T. 2012. La evaluación de la competencia argumentativa a través de rúbricas. *Revista Innovación Educativa*, 12(60), 17-40.

³ Las rúbricas son herramientas de valoración de desempeño, que se establecen alrededor de una cualidad específica a través de un conjunto bien determinado de criterios. Su función principal es describir los niveles de aprovechamiento o ejecución esperados, para en función de ellos emitir una evaluación general o por subapartados del desempeño observado.

⁴ Gasque, S. 2001. El carbono un elemento con múltiples propiedades, *¿cómo ves?*, 28, pp.16-19. Fecha de revisión: 28/enero/2015

Tabla 5. Elementos que componen la rúbrica utilizada para evaluar la argumentación individual en la propuesta de comunicación de las NC.

Aptitudes argumentativas	Rubros a evaluar
Conocimientos	1. Vocabulario. Se refiere al conjunto de palabras y/o terminología que el estudiante domina y explicita en su redacción.
	2. Información disciplinar. Manejo de nociones conceptuales que muestran el grado de comprensión de una temática en particular.
	3. Información contextual. Dominio de información vinculada con contenidos sobre naturaleza de la ciencia y la relación CTSA (Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente).
Habilidades en construcción de argumentos	4. Postura. Indica la enunciación abierta de una posición frente a un tema, la cual funge como un hilo conductor en su discurso.
	5. Coherencia. Elaboración y organización de ideas. Presenta consistencia (relación entre aprendizajes conceptuales y contextuales) y congruencia (no muestra contradicciones en su discurso).
	6. Justificación. Hace uso de evidencias al respaldar afirmaciones, hechos o conclusiones.
	7. Contraargumentación. Replica o referencia a ideas contrarias a la idea o postura que se defiende. Capacidad de reconsiderar afirmaciones en su discurso.
Actitudes	8. Actitud Reflexiva. Predisposición a cuestionar afirmaciones de manera abierta. Habilidad para establecer acuerdos y desacuerdos sobre la temática en estudio.

Para monitorear el rendimiento en cada subapartado, se trazaron cuatro niveles de desempeño con sus indicadores respectivos. De tal manera que, los indicadores del nivel 1 permiten identificar el ejercicio de una argumentación deficiente, mientras que los de nivel cuatro un desempeño óptimo. Por su parte, los niveles 2 y 3 hacen alusión a aptitudes intermedias, esto es, a una ejecución definida como limitada y regular respectivamente.

Para la utilización de la rúbrica, se requiere ubicar en cada rubro el indicador que mejor corresponde con el desempeño observado en un estudiante y, enseguida, asociar un valor numérico a este (de 1 a 4), el cual denota que tanto muestra dicha habilidad. De acuerdo con este instrumento, una argumentación deficiente estará descrita por menos de 8 puntos, un desempeño limitado por debajo de los 16 puntos, el ejercicio de una argumentación regular oscilará en el intervalo de 20-24 puntos y un rendimiento óptimo estará descrito con un puntaje de 32. Una ventaja de utilizar este instrumento de evaluación, es que permite efectuar un análisis por rubro, lo cual es muy conveniente para establecer tendencias muestrales y realizar una valoración más precisa. El instrumento de evaluación utilizado, se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Rubrica utilizada en la evaluación de la argumentación individual.

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 disciplinar	Hay ausencia de conceptos disciplinares clave sobre el tema.	Utiliza de manera limitada la información disciplinar en torno al tema.	Referencia conceptos científicos clave de manera correcta, pero hace poco uso de ellos.	Utiliza la información disciplinar 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 disciplinar 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. Contraargumentación	Ausencia de contraargumentación 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 sólo existe un punto de vista (incuestionable).	Manifiesta que sabe de la existencia de diferentes puntos de vista, pero sólo 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 6.

Ejemplos de ensayos finales
obtenidos en la propuesta de
comunicación de las NC

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 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; uno de éstas 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 consciencia 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, si no que podría representar una nueva esperanza para mejorar el mundo, empezando quizá, 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, aún 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 formara 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.

Rechazo de la inclusión del grafeno al plan de estudios de Química IV

Estoy en contra de la inclusión del estudio del grafeno al programa de estudio de la asignatura de Química IV porque la mayor parte de las propiedades del grafeno no han encontrado aplicaciones reales y no se ha probado que muchas de sus posibles aplicaciones puedan ser producidas a gran escala. Yo opino que para que el estudio de este material pueda ser incluido en el programa de la asignatura se debe demostrar que tiene utilidades reales en la industria y la sociedad, pues si no presenta tales aplicaciones, se le debe dar tan sólo la importancia que se le dan a los fullerenos y a los nanotubos, a los cuales también se les veían muchas posibles aplicaciones pero no tienen ninguna aplicación real de gran importancia.

El estudio del grafeno en el curso de Química IV no resultaría un tema fuera de lugar, pues es precisamente en este curso donde se estudia la química del carbono y dado que el grafeno forma parte de la nanotecnología del carbono, se encuentra estrechamente relacionado este tema. A pesar de esto, considero que el estudio a profundidad de este tema no contribuiría significativamente con la formación del alumno, pues aunque esta temática es relevante en el contexto actual, dejará de ser relevante si no se logran aplicaciones importantes del grafeno en la industria. A mi parecer, si el estudio del grafeno debe estar en el programa de estudio del curso depende de la importancia que tenga social e industrialmente. Por ejemplo, el estudio del petróleo figura dentro del programa porque actualmente tiene una enorme importancia, pero, a mi parecer, si no tuviera esta importancia no debería estar dentro del programa. Considero que lo mismo ocurre con el grafeno.

A pesar de esto, hay que tener en cuenta que el grafeno tiene varias aplicaciones que actualmente se usan, como bombillas de luz y neumáticos, y probablemente muchas otras aplicaciones serán desarrolladas en un futuro próximo, como el prometedor futuro del grafeno en componentes electrónicos. Me parece que a pesar de todas las complicaciones que se han presentado en el desarrollo de la investigación del grafeno, este material probablemente juegue un

papel muy importante en la sociedad y la industria en un futuro próximo, lo cual justificaría su adición al programa de la asignatura de Química IV.

Realizadas estas consideraciones sobre los beneficios del estudio del grafeno es necesario valorar los aspectos tanto positivos como negativos que esto implica. Considero que el estudio del grafeno dependerá de que tan relevantes resulten ser sus aplicaciones y aunque el grafeno tenga un prometedor futuro, esto no es garantía de que sea la gran revolución que se espera que sea, de forma que me resulta precipitado añadir el estudio del grafeno a la asignatura, pues no hay forma de saber si realmente será tan relevante como se espera.

Debido a todo lo anterior, me parece necesario realizar una reforma al programa de la asignatura, pero pienso que debe ser modificado de tal manera que no se dependa de si el grafeno cumple con sus expectativas o no. Considero que una alternativa adecuada para realizar esto es añadir el estudio de nanotecnología del carbono en el programa de la asignatura, pues la nanotecnología del carbono es un tema ya desarrollado y de relevancia actual, de esta manera no centraliza el tema en el grafeno y se contribuye a la formación del alumno con una perspectiva amplia de todos los materiales y aplicaciones que se estudian en este tema.

¿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 en 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 lograría 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 enfocarnos 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, si no 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 como 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.

El grafeno en química IV

¿Realmente vale la pena anexarse el estudio del grafeno al programa de química?, ¿que ventajas tendría?, ¿qué impacto tendría en los estudiantes?

Yo pienso que incorporar el estudio del grafeno al programa de química IV es una gran idea porque éste tiene muchísimas aplicaciones en la tecnología. Prácticamente, por sus propiedades únicas, el grafeno es la base del futuro. Para que éste futuro llegue mas rápido, es necesario que los jóvenes tengan un acercamiento temprano a las formas alotrópicas del carbono, en especial el antes mencionado.

"Nuestras investigaciones establecen el grafeno como el material más fuerte jamás medido, unas 200 veces más fuerte que el acero estructural" señala James Hone, profesor de Ingeniería Mecánica de la Universidad Columbia, Estados Unidos.

Este material no solo es resistente, también tiene propiedades superconductoras y es flexible. La universidad de Sungkyunkwan, Corea del Sur, en conjunto con samsung ha hecho muchos avances en este tema, al grado de construir una pantalla de 25 pulgadas, flexible y táctil.

Ademas de sus aplicaciones tecnológicas, el grafeno puede ayudar a los estudiantes a comprender las extrañas, pero maravillosas formas diferentes en las que se comporta el carbono para formar estructuras, y puesto que el carbono es la temática principal del curso, vale la pena anexarlo y creo que es necesario hacerlo.

El grafeno no solo tiene una aplicación. Ni siquiera es un solo material. Es una gama enorme de materiales." explica Andre Geim, científico galardonado con un Nobel por su trabajo sobre el grafeno

Sin embargo, no todo es rosa para éste alótropo; junto con sus ventajas, lleva sus desventajas: Difícil producción en masa (solo se ha logrado crear en pocas cantidades de un tamaño a penas suficiente para experimentar y descubrir sus propiedades); alto costo de producción, impacto ambiental y la dificultad de controlar la energía que fluye a través de él (no puede "apagarse").

Otra cosa a considerar es que los temarios están hechos para cumplirse en un tiempo determinado y puede darse el caso de que se profundice menos en algunos temas importantes con tal de estudiar algo que aun no tiene certeza completa de poderse aplicar.

Por lo anterior, podría excluirse de los temas: si nunca se logra utilizar funcionalmente y solo quitará tiempo para profundizar en otros temas, entonces el estudio de el grafeno sería en vano, tal como sucedió con los fullerenos, de los cuales, se especulaban muchas cosas pero solo se quedó en eso.

No obstante, si nunca se hace el intento de explicarle a los estudiantes sobre el grafeno, no se generará interés en ellos y, por lo tanto, no habrá suficientes personas que realicen investigaciones sobre el tema que permitan corregir los problemas anteriormente mencionados. Esto provocaría que el conocimiento se quede estancado.

Tomando en cuenta todo lo ya mencionado, puedo concluir que, a pesar de ser una ciencia poco desarrollada, el estudio del grafeno debe incorporarse a los planes de estudio para hacerla crecer y no permitir que las especulaciones se queden en solo especulaciones.

EL MATERIAL DEL FUTURO

Estoy a favor de la incorporación del grafeno en la asignatura de Química IV en la ENCCH-UNAM porque es un material futurista y es importante que se enseñe para despertar un mayor interés por parte de los alumnos en el ámbito de poder innovar la tecnología.

El grafeno es una alotropía del carbono; la cual consiste en un mosaico hexagonal plano (como un panal de abeja) formado por enlaces covalentes de átomos de carbono. Es una lámina bidimensional aunque puede adoptar diversas formas tridimensionales, gracias a su estructura química podemos tener sus grandiosas propiedades como son su dureza, su flexibilidad, su color y que es muy buen conductor de electricidad y esto nos da muchas oportunidades para utilizar al grafeno principalmente en aplicaciones tecnológicas.

Pero opino que nos tenemos que dar cuenta de la problemática que existe en nuestro país, entonces debemos de ponernos a pensar acerca de que pasara cuando el grafeno ocupe un lugar importante en la tecnología, este material llegara a sustituir a muchos materiales utilizados ahora como el acero, el cobre etc..

¿Qué pasara con todas esas personas que se dedican a trabajar o al comercio de otros materiales? Pues bien es por eso que el plan de estudios se debe de actualizar e incluir temas de innovación e interés, porque siento que la educación en este país está muy retrasada, es por eso no tenemos un avance como país y seguimos dependiendo de otros países que si tienen una educación realmente innovadora y enseñan a los estudiantes a ser personas que creen y no solo que copien.

Creo que también es importante mencionar que en el nuevo plan de estudios se debe hacer ver la realidad de las cosas y no solo poner al grafeno como un material "maravilloso" como se ha hecho hasta ahora, sino mostrar a todos también los danos que este material puede causar, tanto en la economía como en la salud, porque se han hecho varios estudios que nos demuestran que el grafeno, ya que es un material muy pequeño puede llegar a entrar a nuestro cuerpo cortando nuestras células esto nos hace pensar y buscar nuevas formas de tratar con un material así.

Pero retomando mi postura creo que es muy bueno que haya una actualización en el plan de estudios y que incluyan al grafeno ya que esto, si se sabe dar bien el tema, haciendo que los alumnos se informen en publicaciones de divulgación científica, traerá muchos beneficios a nuestro país y podremos ver un mayor avance en la tecnología en México que está muy retrasada. Haciendo que los alumnos se interesen por temas innovadores los alentara a que creen sus propias

COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES PLANTEL SUR

XIMENA VARGAS LANDEROS

GRUPO 637

empresas y esto servirá para darles empleo a más personas, aparte de que abra más novedades creadas en México para todo el mundo.

Por ultimo quiero concluir que siempre deben de irse innovando los planes de estudio trayendo consigo nuevos temas, ya que se debe enseñar a los alumnos que en las ciencias nunca se podrá decir que ya no hay más por encontrar, opino que el secreto de que el país progrese es desde la educación, los maestros deben despertar esta chispa que tienen los alumnos por investigar y por hacer sus proyectos, estoy segura que cada alumno podría llegar a hacer muchas cosas porque tienen grandes ideas, lo importante es apoyarlos y darles las herramientas necesarias para que ellos puedan crear más ideas que beneficien a nuestro país.

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 que 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 como 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 como expectativas generadas por los medio de comunicación llegan a no cumplirse. De la misma manera, es con este enfoque que, idealmente,

Domínguez González Jorge Adolfo Grupo 637

se espera un estudio objetivo, tratando todas o la mayoría de desventajas y ventajas del material.