



## DIDÁCTICA

# ¿Hacia dónde debe dirigirse la enseñanza de la Ciencia de Materiales?



José G. Carriazo<sup>a,\*</sup>, Martha J. Saavedra<sup>b</sup> y Manuel F. Molina<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

<sup>b</sup> Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia

Recibido el 22 de junio de 2016; aceptado el 25 de octubre de 2016

Disponible en Internet el 14 de diciembre de 2016

### PALABRAS CLAVE

Ciencia de materiales;  
Didáctica de las ciencias;  
Enseñanza;  
Educación en materiales;  
Diseño curricular

### KEYWORDS

Materials science;  
Science education;  
Teaching;  
Materials education;  
Curricular design

**Resumen** En la actualidad es evidente la necesidad de discutir la orientación curricular que debe darse a la Ciencia de Materiales como asignatura clave en las carreras universitarias de ciencias, ingenierías y profesiones afines con aplicaciones de diseño tecnológico e industrial. En este trabajo se discuten algunos elementos fundamentales para la construcción del currículo de la asignatura Ciencia de Materiales, desde las perspectivas científico-tecnológica y pedagógica. La visión científica permite establecer contenidos orientados desde la concepción moderna de la actividad investigativa y tecnológica mundial en los campos de Materiales y Estado Sólido, y la visión pedagógica rescata el aprendizaje significativo con enfoque CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad) como la combinación metodológica apropiada.

© 2016 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### Where the Teaching of Materials science should be directed to?

**Abstract** Currently, it is evident the need of discussing the curricular orientation that Material Science should have as a key subject in undergraduate programs of science, engineering and related careers with technological and industrial design applications. In this work, some fundamental aspects for building of Materials Science curricula are discussed from scientific, technological and pedagogical perspectives. A scientific and technological view allows establishing conceptual contents intended from world modern knowledge on research and technological activities performed for Materials and Solid State fields. The pedagogical view shows that meaningful learning and STS (Science, Technology and Society) approach should be combined to yield a suitable educational strategy.

© 2016 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [jcarriazog@unal.edu.co](mailto:jcarriazog@unal.edu.co) (J.G. Carriazo).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## Introducción

La Ciencia e Ingeniería de Materiales constituye el campo de acción que fundamenta la obtención y puesta en marcha de materiales funcionales mediante productos con aprobación industrial y social. Por ello, en la actualidad, la mayoría de las universidades del mundo ofrecen la asignatura Ciencia de Materiales como componente significativo del currículo de casi todas las carreras de ciencias, ingenierías y programas afines. El presente trabajo abre la discusión sobre la orientación en la que debería desarrollarse la construcción del currículo en Ciencia de Materiales, con el objetivo de contribuir al diseño de planes de aula basados en el aprendizaje significativo, la resolución de problemas y centrados en la práctica aplicada con pertinencia social, que provean la formación adecuada a los estudiantes de ciencias e ingenierías y de programas afines.

## Aproximación multidisciplinar de la Ciencia de Materiales

La Ciencia de Materiales representa un escenario mixto de confluencia y de aplicación de las ciencias básicas, entre ellas la química, la física y las matemáticas. Se requiere la química en los procesos de síntesis, inorgánicos y orgánicos, en la caracterización (análisis) de materiales y en la valoración de propiedades. La física permite la evaluación de las propiedades mecánicas, térmicas, ópticas, eléctricas y magnéticas, entre otras. La matemática es fundamental en los procesos de diseño y simulación, permitiendo estudiar teóricamente ciertas propiedades de materiales antes de ejecutar algunos procesos prácticos. Los proyectos de investigación en Ciencia de Materiales conectan las disciplinas de la ciencia con el diseño y con los campos ingenieriles (electrónica, eléctrica, química, civil, ambiental, mecánica, aeroespacial, etc.), con áreas como la geología, la arquitectura, la biología, la medicina y profesiones de la salud. En este sentido, la actividad investigativa de la Ciencia de Materiales pone en evidencia la necesidad de conectar diferentes campos desde su saber científico y tecnológico, indicando que la educación en Ciencia de Materiales también requiere un enfoque multidisciplinar integrado.

Evidentemente, la formación en Ciencia de Materiales es fundamental para la selección de materiales apropiados que se someterán a la ejecución y puesta en marcha de diseños elementales o complejos. Pero ¿cómo abordar el problema sobre «qué enseñar» y «cómo enseñar» en la Ciencia de Materiales programada para carreras universitarias? Esto constituye un tema que amerita discusión desde lo científico, lo tecnológico y lo pedagógico.

## Visión de los contenidos

Desde lo científico y tecnológico, es necesario acudir al enfoque actual de la Ciencia de Materiales. Según ello, lo fundamental en el diseño de cualquier material es mantener la visión correlacionada de las funciones deseadas (desempeño del material) con las propiedades y la estructura a escala molecular, para lo cual se requiere definir claramente los procesos de síntesis y tratamientos

post-síntesis (fig. 1). Para establecer los contenidos curriculares básicos de cualquier curso de Ciencia de Materiales se necesita este mismo enfoque. De hecho, esta fue una de las recomendaciones concluyentes del *workshop* de 2008 sobre enseñanza de la Ciencia de Materiales: «*The Future of Materials Science and Materials Engineering Education*» (National Science Foundation, EE. UU., 2008) y ha sido una visión reflejada en los diferentes congresos internacionales sobre Educación en Ciencia de Materiales (*International Materials Education Symposium*, Cambridge, Reino Unido, desde el primero en 2009 al octavo en 2016; *First Asia Materials Education Symposium*, Singapur, 2014; *North American Materials Education Symposium*, Ohio, EE. UU., 2015, y Berkeley, EE. UU., 2016). Es claro que a primera vista parecería que los conceptos involucrados en la figura 1 comprenden casi toda la química y la física, lo que proporciona la idea sorprendente de la necesidad de un currículo desafiante que se acerca al límite de la imposibilidad de ser ejecutado. Sin embargo, eso no es cierto; lo que puede observarse es que la Ciencia de Materiales es un campo multidisciplinar que requiere cierta formación previa básica en química, física y matemáticas, que permita abordar espacios concretos de aplicación real. Desde esta perspectiva, los escenarios para la enseñanza de la Ciencia de Materiales inician asumiendo una red de conocimientos previos en los estudiantes.

Algo elemental que debe tratarse y aclararse al inicio de cualquier curso de Ciencia de Materiales es la definición de lo que es un material y su diferenciación del concepto de materia en general. Fahlman (2011) define el término «material» como un componente o dispositivo en estado sólido que podría ser usado para responder a una necesidad social actual o futura. Smith y Hashemi (2006) aceptan una definición más amplia: sustancias de la que algo está compuesto o hecho. Según nuestro conocimiento, se denomina «material» a las sustancias o mezclas de sustancias que constituyen los objetos útiles a la sociedad, o sea que cumplen un papel o tienen una funcionalidad en la sociedad contemporánea o lo tendrán en las generaciones futuras. Esto incluye también aquellos materiales en estudio debido a su potencialidad tecnológica. Aunque la definición de «material» enmarca principalmente a aquellos en estado sólido, es preciso destacar que también pueden considerarse materiales en estados diferentes (por ejemplo, cristales líquidos, útiles en la elaboración de pantallas de televisión: *Liquids Crystal Displays* [LCD]), siempre que posean funcionalidad en la elaboración de objetos útiles a la sociedad y por tanto generen interés económico o industrial. Es necesario diferenciar lo que es un material de la definición de «materia». Así, diferentes formas de materia como la madera, los plásticos (polímeros sintéticos), el vidrio o algunos metales, debido a su utilidad adquieren interés social e industrial y por ello constituyen diferentes materiales con los que se elaboran objetos con beneficio a la sociedad. Por otra parte, también es necesaria una revisión rápida sobre el papel de los materiales en el avance de la humanidad. Fieschi y Bianucci (2015) proveen una descripción apropiada sobre la importancia de los materiales en la historia de la civilización.

En el plano concreto del diseño curricular para Ciencia de Materiales, deben seleccionarse cuidadosamente aquellos contenidos enmarcados de forma general en la figura 1 que permitan alcanzar los objetivos y competencias que se

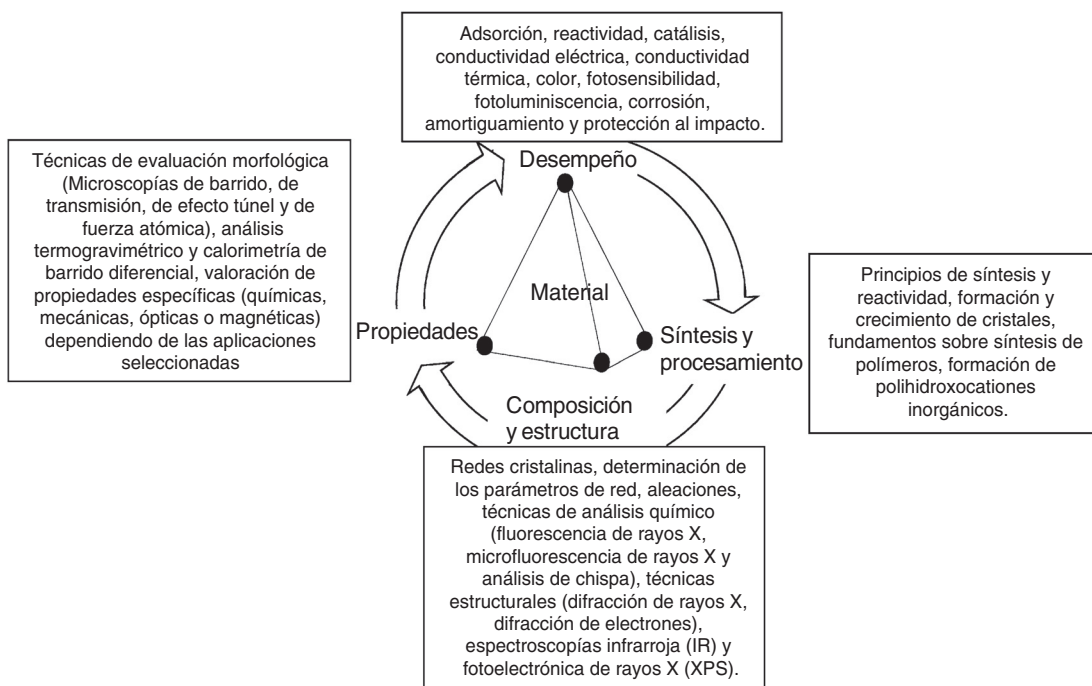


Figura 1 Conocimientos que deben incorporarse en la red de conceptos que conforman el currículo en Ciencia de Materiales.

requieren según el enfoque específico deseado para cada programa o carrera. Esto indica que no es necesario el abordaje de la totalidad de contenidos mencionados en la figura 1, para lo cual es preciso tener claro qué se pretende mediante la formación específica de una población de estudiantes en particular.

### Algunos prerrequisitos conceptuales necesarios para abordar un curso de Ciencia de Materiales

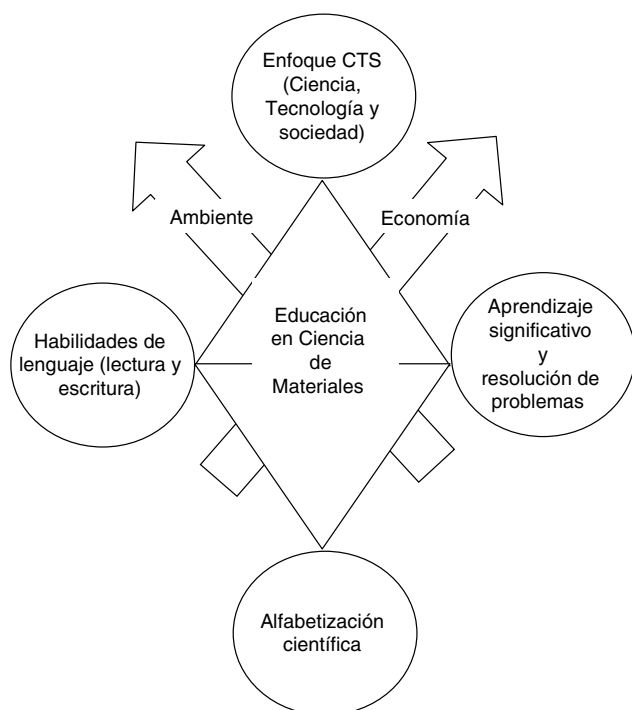
El carácter holístico e integrador de los cursos de Ciencia de Materiales sugiere la necesidad de comprensión y dominio de una red compleja de conceptos fundamentales de diferentes áreas de las ciencias básicas. En un curso de Ciencia de Materiales se pone en evidencia la interacción constante de conceptos básicos de química, física y matemáticas, entre otros, por lo que se requiere previo dominio de ellos sin que el curso se convierta en el espacio de aprendizaje inicial, ya que esto haría difícil y retardaría el desarrollo de las diferentes intencionalidades en Ciencia de Materiales. Algunas instituciones tratan de eliminar al máximo los prerrequisitos para las diferentes asignaturas que ofrecen, con el objeto de incrementar la flexibilidad de los planes curriculares en los diferentes programas universitarios. Esta tendencia es favorable para el desarrollo curricular de las diferentes carreras, pero debe tenerse en cuenta que existen límites dentro de dicha flexibilidad, para que no ocurra sacrificio de la formación conceptual inicial básica que garantice el desarrollo de cursos con alta calidad académica y científica.

Para desarrollar exitosamente las temáticas de un curso de Ciencia de Materiales, a nivel de pregrado, el estudiante debe poseer previamente los siguientes conocimientos: estructura atómica, periodicidad, enlace químico

y fuerzas intermoleculares, estequiometría, procesos de óxido-reducción, elementos de física mecánica (fuerza, trabajo y energía) y de física moderna (radiación electromagnética, frecuencia, longitud de onda y energía), operaciones vectoriales, álgebra elemental, fundamentos de geometría analítica y principios de cálculo. No se incluyen aquí los principios de espectroscopia, aunque sería muy favorable contar con dichos fundamentos para facilitar la comprensión de ciertas técnicas de caracterización de materiales.

### Visión pedagógica

Las tendencias recientes en didáctica de las ciencias apuntan al uso de actividades basadas en experiencias cotidianas (Carriazo y Molina, 2014). Los contextos relacionados con la vida diaria son más atractivos para los estudiantes y los motivan a avanzar en el proceso de aprendizaje (Jiménez, Sánchez y Torres, 2003; Pilot y Bulte, 2006). Esta tendencia de enseñanza se soporta epistemológicamente en los trabajos de Ausubel sobre el *aprendizaje significativo* (Novak, 2002), cuya propuesta se fundamenta en el modelo constructivista del aprendizaje. El *aprendizaje significativo* involucra la incorporación de significado (importancia social, tecnológica o industrial) a los conceptos aprendidos y la exploración y conexión con los conocimientos previos (adquiridos en contextos formales o informales) de los estudiantes (Stevens, Shin y Peek-Brown, 2013; Carriazo y Molina, 2014). Dentro del modelo constructivista, la *resolución de problemas* es también una tendencia pedagógica útil para el desarrollo de cursos prácticos de Ciencia de Materiales, la cual no es excluyente o incompatible con el *aprendizaje significativo* de Ausubel, sino que son estilos de enseñanza necesariamente complementarios. La *resolución*



**Figura 2** Contexto pedagógico propuesto para el desarrollo curricular de una asignatura de Ciencia de Materiales en carreras universitarias.

*de problemas* es una metodología educativa ampliamente usada en varios campos del conocimiento, es integradora de múltiples temáticas y en ella los procesos cognitivos se dirigen a conseguir un propósito cuando el método para resolver el «problema» planteado no es claro para el sujeto que intenta resolverlo (Lee, 2010a, Jansson, Söderström, Andersson y Nording, 2015). En esta metodología es recomendable que el desarrollo de núcleos problemáticos se haga posterior a la adquisición de la formación conceptual necesaria (conocimientos escolar y científico bien estructurados). Algunos fracasos frecuentes en esta metodología son concurrentes con el desarrollo de situaciones problemáticas anticipadas a la formación conceptual de ciertas temáticas, o con la utilización de situaciones problemáticas como punto de generación de los conceptos fundamentales que a su vez se requieren para la resolución de los problemas planteados.

Desde lo pedagógico (fig. 2), es evidente que la propuesta de aprendizaje significativo (Novak, 2002; Pilot y Bulte, 2006; Stevens et al., 2013), asociada a la metodología de resolución de problemas, constituye una opción favorable para el desarrollo de un programa de enseñanza en Ciencia de Materiales. De esta manera, debe pasarse, incluso, del aprendizaje escolar activo a la integración permanente de situaciones reales de investigación y aplicaciones industriales y tecnológicas de la Ciencia de Materiales. Diversas propuestas han surgido en los congresos y talleres sobre la enseñanza de este campo durante los últimos años. En el *workshop* de 2008, «*The Future of Materials Science and Materials Engineering Education*» (National Science Foundation, 2008), se propuso la vinculación inmediata de los procesos reales e interdisciplinarios en el desarrollo de las actividades académicas de los programas de Ciencia de Materiales. En el año 2014, en el VI Simposio Internacional

de Educación en Materiales, en Cambridge, se hizo énfasis en la aplicación de metodologías de enseñanza basadas en la resolución de problemas reales (He, 2014; Raja, 2014), en la multidisciplinariedad de la Ciencia de Materiales (Canal Marques, 2014; Miodownik, 2014; Smith, 2014) y en su conexión con aspectos del ambiente y la economía (Choon Fong, 2014; Ferrer, Segalàs y Ashby, 2014; Goodhew, 2014). De manera similar, en el VI Simposio Norteamericano de Educación en Materiales (The Ohio State University, 2015) se dio gran importancia a la innovación pedagógica, a los aspectos ambientales y a las actividades curriculares basadas en la resolución de problemas.

Por otra parte, es necesario considerar el enfoque CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad) con el objetivo de integrar continuamente los contenidos desarrollados con los contextos tecnológico, social y de vida cotidiana (Lee, 2010b; Carriazo, 2011; Meroni, Copello y Paredes, 2015). Los aspectos ambientales y de la economía deben ser ejes transversales de constante revisión durante el desarrollo de los contenidos y actividades pedagógicas (teóricas y prácticas) que requieran su vinculación. Feinstein y Kirchgasser (2015) argumentan que la sostenibilidad global requiere la formación de individuos en contextos de CTS conectados con el ambiente y la economía.

CTS es un enfoque curricular que integra los contenidos de la ciencia con los contextos tecnológicos y sociales significativos para los estudiantes (Lee, 2010b). Dicho enfoque curricular incluye un arreglo amplio de temas multidisciplinares conectados con la epistemología, la sociología y la historia de la ciencia y la tecnología, también con la política y la ética, lo que le confiere una posición importante en los procesos de entendimiento de la naturaleza de la ciencia durante el aprendizaje de temas científicos (Vázquez-Alonso, García-Carmona, Manassero-Mas y Bennássar-Roig, 2013; Aikenhead y Ryan, 1992). El enfoque CTS está dirigido a temas actuales y busca la resolución de problemas en dicho contexto como la mejor manera de preparar a los estudiantes para las funciones de ciudadanos actuales y del futuro, lo cual significa la identificación de ciertos problemas a nivel local, nacional e internacional y su vinculación en la planeación de soluciones (Akçay y Yager, 2010). Kaya, Yager y Dogan (2009) concretamente consideran que a través de programas basados en CTS se consigue que los estudiantes: 1) usen los conceptos de ciencia y tecnología en el tratamiento de sus problemas de la vida diaria y sus decisiones personales; 2) sean curiosos con respecto a la estructura natural del mundo y la intervención del ser humano en el ambiente; 3) relacionen la ciencia y la tecnología con los problemas locales y globales, y 4) analicen las interacciones entre la ciencia, la tecnología y la sociedad. En el caso la Ciencia de Materiales, el enfoque CTS constituye el escenario apropiado para el desarrollo de actividades curriculares basadas en la resolución de problemas y el aprendizaje significativo, integrando el aprendizaje de las diferentes temáticas en contextos reales provenientes de la investigación científica y de la industria, relevantes de acuerdo a los intereses de la sociedad actual y manteniendo la importancia de las implicaciones ambientales y de la economía.

Las habilidades de lenguaje en Ciencia de Materiales (lectura y escritura), tanto en lengua materna como en inglés, deben reforzarse continuamente para brindar herramientas

con las cuales los estudiantes puedan explorar e interpretar la literatura científica y contextualizar la ciencia y la ingeniería de materiales en el mundo globalizado. Por ello, se requiere generar la dinámica constante de lectura y discusión de artículos científicos y técnicos en diferentes temáticas de la Ciencia de Materiales. La lectura y escritura en ciencias constituye un componente esencial del currículo que debe desarrollarse y fortalecerse con el objeto de mejorar el aprendizaje propio de las disciplinas (Kovac y Sherwood, 1999). Quilez Pardo (2016) destaca el papel del lenguaje en la construcción, la comunicación y el aprendizaje del saber científico.

Adicionalmente, conocimientos generalizados de Ciencia de Materiales son también de frecuente interés para otras personas cuyos requerimientos en el tema son menores. El aumento actual en el acceso de la población a dispositivos y procesos de alta tecnología (muchas veces publicitados en medios de comunicación), el comportamiento arraigado de las personas en calidad de consumidores y la necesidad de establecer criterios tecnológicos para el consumo de productos generan la necesidad urgente de conexión de los contextos científico, tecnológico y social (enfoque CTS) con una perspectiva globalizada de «alfabetización científica». En este contexto, la Ciencia de Materiales adquiere una posición estratégica en la educación, para proveer conocimientos tecnológicos, científicos y en general culturales que deben hacer parte del capital académico que conforma a cualquier profesional, tanto de las ciencias como de las ingenierías y de las artes.

Otro elemento esencial a lo largo de todo el trabajo pedagógico es la motivación de los estudiantes, la cual juega un papel importante en el proceso de aprendizaje, mejorando los niveles de adquisición de conocimientos (Yen, Tuan y Liao, 2011; Ng, Liu y Wang, 2016). La ciencia en contexto genera gran motivación en los estudiantes, ya que les permite extraer el conocimiento escolar y colocarlo en situaciones reales, proporcionándole valor, utilidad e interés social. Es necesario tener en cuenta algunos aspectos que permiten aumentar la motivación de los estudiantes y con ello el entusiasmo por la Ciencia de Materiales; por ejemplo, el uso de contextos relevantes, el entusiasmo del profesor, la calidad en las actividades de enseñanza y la inspiración sobre autonomía y competencia (Nentwing, Demuth, Parchmann, Gräsel y Ralle, 2007). La motivación no es responsabilidad únicamente del estudiante, sino también del profesor, y está fuertemente relacionada con experiencias subjetivas como las actividades de clase o las relaciones sociales desarrolladas en este contexto (Smith, Deemer, Thoman y Zazworsky, 2014; Tolentino-Cicuto y Baptista-Torres, 2016).

## Apropiación de contenidos actuales en contexto

Para fortalecer los contenidos del currículo de manera actualizada, haciendo que provean significado científico y tecnológico a los estudiantes y generando pertinencia social, vale la pena acudir a las revistas especializadas de actualidad para tomar elementos reales sobre qué temas son preferidos para sus publicaciones. Dichas revistas proveen ejemplos reales de diseño y aplicación de variados tipos

de materiales de última generación que involucran los conceptos básicos de la Ciencia de Materiales y las diferentes técnicas de caracterización de sólidos, lo cual genera verdaderos escenarios para el enfoque CTS con elementos motivacionales diversos. Por ejemplo, *Journal of Materials Science* (ISSN: 0022-2461) publica «investigaciones en, o técnicas para, el estudio de las relaciones fundamentales entre estructura, procesamiento, propiedades y desempeño de materiales». A partir de esta revista se pueden extraer ejemplos específicos que ilustran las relaciones fundamentales expresadas en el tetraedro de los materiales (fig. 1), destacando la dependencia directa del funcionamiento de los materiales con respecto a sus características estructurales y de composición. *Materials Science and Engineering: A* (ISSN: 0921-5093) provee contextos importantes sobre la caracterización mecánica de materiales y sobre las operaciones post-síntesis (procesamiento, fig. 1). *Journal of Materials Science & Technology* (ISSN: 1005-0302) contiene importantes herramientas de estudio para las temáticas de metales y aleaciones, al igual que para la síntesis de estructuras funcionales inorgánicas en general. *Materials Chemistry and Physics* (ISSN: 0254-0584) publica trabajos que interrelacionen estructura, propiedades, procesamiento y desempeño de materiales, resaltando los casos de películas delgadas, semiconductores, materiales fotoeléctricos, superconductores, polímeros, cerámicos y corrosión. En *Powder Technology* (ISSN: 0032-5910) se pueden localizar ejemplos sobre materiales en polvo con propiedades tecnológicas avanzadas que incluyen adsorción, catálisis, liberación controlada, propiedades magnéticas, materiales de utilidad alimentaria y farmacéutica, entre otros.

Adicionalmente, *Materials and Design* (ISSN: 0261-3069) muestra resultados de investigaciones sobre propiedades de materiales que ejercen influencia o control sobre cualquier diseño práctico, lo cual incluye todos los materiales de ingeniería. *Materials Characterization* (ISSN: 1044-5803) contiene contextos muy interesantes para entender diversas técnicas de caracterización de sólidos, como difracción de rayos X, diversas espectroscopias y variadas técnicas estructurales que permiten alimentar los diversos contenidos de un curso de Ciencia de Materiales. Por otra parte, *Journal of Materials Education* (ISSN: 0738-7989) provee innovaciones en enseñanza, estudios comparativos de prácticas pedagógicas, desarrollo curricular y tutoriales de nuevos materiales, de procesamientos y de técnicas de caracterización. De manera similar, en *Journal of Chemical Education* (ISSN: 0021-9584) se encuentran trabajos enfocados a la enseñanza de principios de química de sólidos, experimentos y actividades pedagógicas orientadoras, lo cual ofrece la posibilidad de comprender los fundamentos elementales de técnicas y procedimientos relacionados con la química de materiales.

Como se mencionó anteriormente, las relaciones y las dependencias de la funcionalidad de los materiales con sus propiedades, con su estructura interna y composición constituyen elementos fundamentales orientadores en los escenarios de divulgación de estas revistas. Esto genera un espacio de confluencias enorme entre el contexto actual de la Ciencia de Materiales y el modelo de currículo que se propone para esta asignatura en el presente trabajo. En dicho modelo debe abordarse el currículo mediante la resolución de problemas, partiendo del aprendizaje significativo y el enfoque CTS, desarrollando en contexto los contenidos

Tema	Contenidos y referencias sugeridas	Tiempo estimado (semanas)	Problemas de estudio
1	<p>Introducción a la Ciencia de Materiales, definición de material y la incidencia de los materiales en la historia de la civilización.</p> <p>Referencia #1. Fieschi, R., Bianucci, M. (2015). An introductory course- The role of materials through the history of human civilization. <i>Journal of Materials Education</i>, 37, 169-184.</p>	(1) Actividad recomendada: Discutir la referencia sugerida # 1 (Fieschi y Bianucci, 2015), destacando la influencia de diversos materiales en el avance de la civilización.	<p>¿Cuál ha sido la importancia de los materiales representativos (piedra, barro, cobre, bronce, hierro, plásticos, etc.) en cada una de las etapas de la civilización?</p> <p>¿Por qué el polietileno, el aluminio, el carbón mineral y el coltán, además de ser materia se consideran materiales?</p>
2	<p>Materiales cristalinos y amorfos. Estructuras de metales, aleaciones y diagramas de fases de aleaciones. Procesos de cristalización. Defectos en cristales.</p> <p>Referencia #2. Birk, J. P., Yezierski, E. J., Laing, M. (2003). Paper-and-glue unit cell models. <i>Journal of Chemical Education</i>, 80(2), 157-159.</p> <p>Referencia #3. Ma, L., He, D., Li, X., Jiang, J. (2010). Microstructure and Mechanical Properties of Magnesium Alloy AZ31B Brazed Joint Using a Zn-Mg-Al Filler Metal. <i>Journal of Materials Science &amp; Technology</i>, 26(8), 743-746.</p>	(3) Actividades recomendadas: Elaborar modelos de estructuras cristalinas, según la referencia sugerida # 2 (Birk et al., 2003). Discutir las reglas de Hume-Rothery. Discutir los diagramas de fases de los sistemas Cu-Ni y Pb-Sn. Representar mediante dibujos las diferentes etapas del crecimiento de cristales. Interpretar la curva clásica de variación de energía libre de Gibbs en función del crecimiento del tamaño del cristal. Consultar un artículo científico en las revistas indicadas (sección "Apropiación de contenidos actuales en contexto") sobre una aleación metálica (como la referencia sugerida # 3: Ma et al., 2010) y explicar las propiedades y la importancia de dicha aleación.	<p>¿Cuándo un material es cristalino y cuándo es amorfo?</p> <p>¿Cuántas y cuáles formas de celda unidad se pueden encontrar en los materiales cristalinos?</p> <p>¿Cómo se pueden calcular las densidades de los metales Cu, Ni y Mg a partir de sus estructuras cristalinas? ¿Por qué los metales son buenos conductores de electricidad?</p> <p>¿Cómo crece un monocristal a partir de un medio líquido?</p>
3	<p>Técnicas de caracterización: fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X y microscopía electrónica (SEM y TEM), microscopías de sonda (STM y AFM).</p> <p>Referencia #4. Pope, C. G. (1997). X-Ray Diffraction and the Bragg Equation. <i>Journal of Chemical Education</i>, 74(1), 129-131.</p> <p>Referencia #5. Carriazo, J. G., Molina, M. F. (2014). Using X-ray diffraction to investigate the crystal structure of materials contained in toothpastes: an inquiry-based lab activity. <i>Journal of Materials Education</i>, 36 (5-6), 161-168.</p> <p>Referencia #6. Torres-Luna, J. A., Sanabria, N. R., Carriazo, J. G. (2016). Powders of iron(III)-doped titanium dioxide obtained by direct way from a natural ilmenite. <i>Powder Technology</i>, 302, 254-260.</p>	(4) Actividades recomendadas: Consultar y discutir la metodología de Henry Moseley para organizar los elementos en la tabla periódica. Demostrar la ecuación de Bragg y comparar su construcción con la discusión de la referencia sugerida # 4 (Pope, 1997). Tomar el difractograma y hacer el análisis por SEM (si se tienen los instrumentos) de una muestra de sal de cocina. Responder las preguntas de la referencia sugerida # 5 (Carriazo et al., 2014) sobre estructuras cristalinas en cremas dentales. Consultar un artículo sobre uno o varios materiales en polvo donde se apliquen las técnicas estudiadas (como por ejemplo, la referencia sugerida # 6 (Torres-Luna et al., 2016), discutir el proceso de síntesis de los polvos, los resultados de fluorescencia de rayos X, de difracción de rayos X y el análisis morfológico hecho por SEM). También debe discutirse la parte experimental de cada técnica. Correlacionar las estructuras evaluadas con las posibles propiedades dependientes del <i>band-gap</i> .	<p>¿Cómo se genera la radiación emitida por fluorescencia de rayos X de un elemento?</p> <p>¿Qué relación existe entre el trabajo de Moseley y la técnica de fluorescencia de rayos X? ¿Por qué los rayos X pueden ser difractados por una estructura cristalina?</p> <p>¿Cómo se determinan los parámetros de celda de un material con estructura cristalina? ¿Cómo se determina, mediante difracción de rayos X, el tamaño de partícula promedio de materiales en polvo? ¿Qué principio de la Física permite emplear un haz de electrones en vez de un haz de luz para obtener imágenes de microscopía electrónica? ¿Por qué las imágenes obtenidas por SEM, TEM, STM y AFM no reflejan el color del material analizado?</p>
4	<p>Propiedades de los materiales cerámicos, plásticos y compuestos. Deterioro de los materiales.</p>	(3) Actividades recomendadas: Elaborar un video-documental (de 15 minutos) sobre las propiedades y aplicaciones de materiales	<p>¿Por qué los materiales cerámicos tienen, en general, temperaturas de fusión muy elevadas? ¿Qué propiedades</p>

Figura 3 Contenidos y actividades sugeridas para un curso de Ciencia de Materiales.

fundamentales descritos en la figura 1, en la cual se destacan las relaciones función-propiedades-estructura como hilo conductor del desarrollo temático. Estas revistas proveen suficiente información actualizada, lo que permite seleccionar y abordar estudios de casos como posibles problemas en contexto. Los estudios de casos deben abordarse después de haber suministrado a los estudiantes la información suficiente sobre los procedimientos y técnicas implicadas.

### Algunos temas y actividades que orientan el modelo propuesto

Con el objeto de orientar el modelo propuesto, en la figura 3 se presentan una serie de temáticas básicas y algunas actividades orientadoras, sin que constituyan un temario obligado o que representen los únicos temas de cualquier curso de materiales. Como se mencionó

	<p>Referencia #7. Ai, Y., Xie, X., He, W., Liang, B., Fang, Y. (2015). Microstructure and properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(n)/ZrO<sub>2</sub> dental ceramics prepared by two-step microwave sintering. <i>Materials and Design</i>, 65, 1021–1027.</p> <p>Referencia #8. Xu, T., Li, G. (2011). A shape memory polymer based syntactic foam with negative Poisson's ratio. <i>Materials Science and Engineering A</i>, 528, 6804–6811.</p>	<p>cerámicos. Consultar y discutir, en grupos de tres integrantes, un artículo de aplicación de materiales cerámicos, seleccionado de las revistas indicadas (sección "Apropiación de contenidos actuales en contexto"), como por ejemplo la referencia sugerida # 7 (Ai et al., 2015), en la cual es necesario analizar el contexto en el que elaboran los materiales en cuestión (materiales para restauración dental). En este sentido, los nuevos cerámicos mostrados en este artículo deben presentar mejoras en propiedades mecánicas (tensión y dureza), de recubrimiento y estéticas. En dicho artículo se pueden correlacionar las propiedades con la microestructura evaluada por difracción de rayos X, TEM y difracción de electrones.</p> <p>Elaborar una colección de 40 o más muestras de materiales plásticos comerciales (de uso cotidiano e industrial), clasificarlos y etiquetarlos cada uno con su nombre, su grupo (termoplástico, termoestable, elastómero, etc.) y sus aplicaciones. Hacer un análisis sobre aplicaciones potenciales del polímero con memoria de forma preparado en la referencia sugerida # 8 (Xu y Li, 2011).</p>	<p>generales tienen los plásticos? ¿Qué son los polímeros sintéticos? ¿Cómo ocurren las reacciones de polimerización por adición y por condensación? ¿Cómo se preparan los plásticos como el polietileno, el polipropileno, el acrílico (polimetilmetacrilato) y el nylon? ¿Qué se pretende en ciencia de materiales con la preparación de materiales compuestos? ¿Cómo diseñarías un material compuesto de kevlar, fibra de vidrio y polipropileno con máxima resistencia al impacto? ¿Cómo se da la corrosión de los metales?</p>
5	<p>Técnicas de caracterización: valoración de propiedades mecánicas, evaluación de propiedades térmicas (TGA/DSC).</p> <p>Referencia #9. Figueiredo, R. B., Barbosa E., Zhao, X., Yang X., Liu, X., Celtin, P., Langdon, T. (2014). Improving the fatigue behavior of dental implants through processing commercial purity titanium by equal-channel angular pressing. <i>Materials Science &amp; Engineering A</i>, 619, 312–318.</p> <p>Referencia # 10. D'Amico, T., Donahue, C. J., Rais, E. A. (2008). Thermal analysis of plastics. <i>Journal of Chemical Education</i>, 85(3), 404-407.</p>	<p>(2)</p> <p>Actividades recomendadas: Elaborar un ensayo de dos páginas sobre la importancia de la valoración de las propiedades mecánicas de los materiales. Contextualizar el ensayo (mediante ejemplos) hacia materiales con aplicación en la vida cotidiana: materiales de empaques, envases, vestidos, muebles, recipientes, electrodomésticos, herramientas, vehículos, alimentos, etc. Consultar un artículo científico donde se evalúen propiedades mecánicas de materiales (interpretar dichos resultados); por ejemplo, la referencia sugerida # 9: Figueiredo et al., 2014. En dicha referencia, se pueden discutir las curvas de tensión-deformación y los resultados de compresión obtenidos para implantes dentales que también fueron sometidos a ensayos de fatiga. Consultar cómo funciona un equipo de análisis térmico (TGA/DSC). Interpretar los resultados de análisis térmico (TGA/DSC) de un conjunto de materiales poliméricos, extraídos de un artículo científico; por ejemplo, la referencia 10 (D'Amico et al., 2008).</p>	<p>¿Cómo se obtiene un diagrama de tensión-deformación para un acero? ¿Cómo evaluarías la dureza de una lámina de bronce? ¿Cómo determinas la tenacidad y la ductilidad de una barra de polietileno? ¿Cómo influye el tipo de estructura cristalina de un material en sus propiedades mecánicas? ¿Por qué los plásticos tienen módulos de elasticidad (módulos de Young) bajos y los metales y cerámicos tienen módulos elevados? ¿Por qué los plásticos funden a temperaturas bajas? ¿Cómo determinarías experimentalmente las entalpías de fusión de los siguientes materiales: polipropileno, nylon, estaño, plomo, aluminio?</p>
6	<p>Materiales conductores de electricidad. Semiconductores y superconductores. Valoración propiedades eléctricas.</p> <p>Referencia # 11. Awad, R., Al-Zein, A., Roumi, M., Ibrahim, I. H. (2013). Synthesis and Characterization of Ti-1223 Substituted by Scandium. <i>Journal of Materials Science and Technology</i>, 29(11), 1079-1084</p>	<p>(3)</p> <p>Actividades recomendadas: Escribir un ensayo de tres páginas sobre los modelos clásico y de bandas para conducción de corriente. Consultar y analizar (en grupo de tres estudiantes) un artículo científico sobre materiales semiconductores o superconductores. Por ejemplo, la referencia sugerida # 11 (Awad et al., 2013), contiene resultados de mediciones eléctricas de un conjunto de materiales superconductores sintetizados a base de Ti, Ca, Ba, Sc, Cu y O, que permiten contextualizar y aplicar parte de los conocimientos aprendidos sobre el tema. Igualmente, contiene resultados de difracción de rayos X y SEM.</p>	<p>¿Por qué los metales conducen la corriente eléctrica? ¿Qué son semiconductores intrínsecos y extrínsecos? ¿Cómo prepararías un semiconductor P de silicio? ¿Cómo prepararías un semiconductor N de silicio? ¿Qué funcionalidad tiene la unión N-P en la fabricación de dispositivos electrónicos?</p>

Figura 3 (continuación)

anteriormente (sección «Visión de los contenidos»), los cursos de Ciencia de Materiales tendrán ciertas diferencias de acuerdo a la naturaleza del programa para el cual son ofrecidos.

El curso en general puede desarrollarse en un semestre académico (5 horas semanales presenciales, durante 16 semanas). Adicionalmente, debe contarse con 4 horas adicionales cada semana para el trabajo autónomo de los estudiantes (lecturas, trabajos, ejercicios, etc.), para un total de 9 horas semanales.

## Conclusiones

La visión científica y tecnológica actual de la Ciencia de Materiales permite el acercamiento de los contenidos hacia los temas de investigación destacados en la vida moderna, enmarcados dentro de la relación función-propiedades-estructura/composición-síntesis, lo cual es verificable en revistas científicas internacionales. El avance acelerado en el diseño y funcionamiento de nuevos materiales indica la necesidad de plantear un currículo dinámico y flexible en

Ciencia de Materiales que satisfaga los requerimientos particulares de ciertos programas universitarios y que provea fundamentos básicos y sólidos para la formación de estudiantes con competencias de interpretación de literatura científica, argumentación y proposición en la selección de materiales para el diseño, en la elucidación de estructuras y en la síntesis de nuevos materiales. Las diferentes aproximaciones a la enseñanza actual de la Ciencia de Materiales, resaltadas en diferentes congresos y publicaciones, destacan y recomiendan el desarrollo de actividades de aprendizaje de corte constructivista. En este contexto, la visión pedagógica del presente trabajo enmarca la enseñanza de la Ciencia de Materiales dentro del modelo constructivista, haciendo uso del «aprendizaje significativo» y dirigida preferiblemente mediante los enfoques didácticos de CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad) y la resolución de problemas. Adicionalmente, durante todo el ejercicio pedagógico se recomienda dar importancia relevante a las habilidades de comunicación escrita, incluyendo de manera especial el idioma inglés.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá) y a la Universidad Pedagógica Nacional (Bogotá, Colombia), por su apoyo logístico en la elaboración de este trabajo.

## Referencias

- Aikenhead, G. S. y Ryan, A. G. (1992). The development of a new instrument: Views on Science-Technology-Society (VOSTS). *Science Education*, 76, 477–491.
- Akcay, H. y Yager, R. E. (2010). The impact of a Science/Technology/Society teaching approach on student learning in five domains. *Journal of Science Education and Technology*, 19, 602–611.
- Canal Marques, A. (2014). Teaching Interdisciplinary MSE Modules. In *1st Asian Materials Education Symposium (Proceeding)* (p. 28).
- Carriazo, J. G. y Molina, M. F. (2014). Using X-ray diffraction to investigate the crystal structure of materials contained in toothpastes: An inquiry-based lab activity. *Journal of Materials Education*, 36, 161–168.
- Carriazo, J. G. (2011). Laboratory projects using inquiry-based learning: An application to a practical inorganic course. *Química Nova*, 34, 1085–1088.
- Choon Fong, S. (2014). A New Paradigm in Materials Education: Materials for a Green Economy. In *1st Asian Materials Education Symposium (Proceeding)* (p. 9).
- Fahlman, B. D. (2011). *Materials Chemistry* (2nd ed.). New York, NY: Springer.
- Feinstein, N. W. y Kirchgasser, K. (2015). Sustainability in science education? How the next generation science standards approach sustainability, and why it matters. *Science Education*, 99, 121–144.
- Ferrer, D., Segalàs, J. y Ashby, M. F. (2014). Sustainability Science and Technology. In *6th International Materials Education Symposium (Proceeding)* (p. 20).
- Fieschi, R. y Bianucci, M. (2015). An introductory course — The role of materials through the history of human civilization. *Journal of Materials Education*, 37, 169–184.
- Goodhew, P. (2014). Materials Education in a Changing Climate. In *1st Asian Materials Education Symposium (Proceeding)* (p. 40).
- He, C. (2014). From Research to Teaching: Using Case Study as an Effective Tool to Reinforce Basic Physical Concepts in Polymer Science. In *1st Asian Materials Education Symposium (Proceeding)* (p. 21).
- Jansson, S., Söderström, H., Andersson, P. L. y Nording, M. L. (2015). Implementation of problem-based learning in environmental chemistry. *Journal of Chemical Education*, 92(12), 2080–2086.
- Jiménez, M. R., Sánchez, M. A. y Torres, E. M. (2003). Química cotidiana: ¿Amenizar, sorprender, introducir o educar? En G. Pinto Cañón (Ed.), *Didáctica de la química y vida cotidiana* (pp. 15–23). Madrid, España: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales-Universidad Politécnica de Madrid.
- Kaya, O. N., Yager, R. y Dogan, A. (2009). Changes in attitudes towards Science-Technology-Society of pre-service science teachers. *Research in Science Education*, 39, 257–279.
- Kovac, J. y Sherwood, D. W. (1999). Writing in chemistry: An effective learning tool. *Journal of Chemical Education*, 76, 1399–1403.
- Lee, C. B. (2010). The interactions between problem solving and conceptual change: System dynamic modelling as a platform for learning. *Computers and Education*, 55, 1145–1158.
- Lee, Y. C. (2010). Science-Technology-Society or Technology-Society-Science? Insights from an Ancient Technology. *International Journal of Science Education*, 32, 1927–1950.
- Meroni, G., Copello, M. I. y Paredes, J. (2015). Enseñar química en contexto. Una dimensión de la innovación didáctica en educación secundaria. *Educación Química*, 26, 275–280.
- Miodownik, M. (2014). Experiments Promoting Multidisciplinary Materials Research. In *6th International Materials Education Symposium (Proceeding)* (p. 21).
- National Science Foundation. (2008). The future of materials science and materials engineering education. In *A report from the Workshop on Materials Science and Materials Engineering Education*.
- Nentwing, P. M., Demuth, R., Parchmann, I., Gräsel, C. y Ralle, B. (2007). Chemie im Kontext: Situating learning in relevant contexts while systematically developing basic chemical concepts. *Journal of Chemical Education*, 84, 1439–1444.
- Ng, B. L. L., Liu, W. C. y Wang, J. C. K. (2016). Student motivation and learning in mathematics and science: A cluster analysis. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14, 1359. <http://dx.doi.org/10.1007/s10763-015-9654-1>
- Novak, J. D. (2002). Meaningful Learning: The essential factor for conceptual change in Limited or Inappropriate propositional hierarchies leading to empowerment of learners. *Science Education*, 86, 548–571.
- Pilot, A. y Bulte, A. (2006). The use of contexts as a challenge for the chemistry curriculum: Its successes and the need for further development and understanding. *International Journal of Science Education*, 28, 1087–1112.
- Quilez Pardo, J. (2016). ¿Es el profesor de Química también profesor de Lengua? *Educación Química*, 27, 105–114.
- Raja, V. S. (2014). Connecting Science to Typical Engineering Problems: An Effective Pedagogy to Teach Complex and Diverse Concepts in Corrosion. In *1st Asian Materials Education Symposium (Proceeding)* (p. 26).
- Smith, L. (2014). Biomaterials Education for a Multidisciplinary Audience. In *1st Asian Materials Education Symposium (Proceeding)* (p. 36).
- Smith, J. L., Deemer, E. D., Thoman, D. B. y Zazworsky, L. (2014). Motivation under the microscope: Understanding undergraduate



- science students' multiple motivations for research. *Motivation and Emotion*, 38, 496–512.
- Smith, W. y Hashemi, J. (2006). *Fundamentos de la Ciencia de Materiales* (4.ª ed.). México, DF: McGraw-Hill.
- Stevens, S. Y., Shin, N. y Peek-Brown, D. (2013). Learning progressions as a guide for developing meaningful science learning: A new framework for old ideas. *Educación Química*, 24, 381–390.
- Tolentino-Cicuto, C. A. y Baptista-Torres, B. (2016). Implementing an active learning environment to influence students' motivation in Biochemistry. *Journal of Chemical Education*, 93(6), 1020–1026. <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00965>
- Vázquez-Alonso, A., García-Carmona, A., Manassero-Mas, M. A. y Bennáscar-Roig, A. (2013). Spanish secondary-school science teachers' beliefs about Science-Technology-Society (STS) Issues. *Science & Education*, 22, 1191–1218.
- Yen, H. C., Tuan, H. L. y Liao, C. H. (2011). Investigating the influence of motivation on students' conceptual learning outcomes in web-based vs. classroom-based science teaching contexts. *Research in Science Education*, 41, 211–224.