

ISSN: 2594-0937

Debates sobre Innovación

Número 1, Volumen 8
Ene-Mar de 2022



Memorias 4to Coloquio de estudiantes de posgrado sobre
Gestión y Políticas de CTI

Comité editorial

Gabriela Dutrénit
José Miguel Natera
Arturo Torres
José Luis Sampedro
Diana Suárez
Marcelo Mattos
Carlos Bianchi
Jeffrey Orozco
João M. Hausmann
Matías F. Milia

REVISTA ELECTRÓNICA
TRIMESTRAL



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA
Unidad Xochimilco



MEGI
MAESTRÍA EN ECONOMÍA, GESTIÓN
Y POLÍTICAS DE INNOVACIÓN



LALICS

LATIN AMERICAN NETWORK FOR ECONOMICS FOR LEARNING,
INNOVATION AND COMPETENCE BUILDING SYSTEMS

DEBATES SOBRE INNOVACIÓN. Volumen. 8 Número. 1. Enero - Marzo 2022. Es una publicación trimestral de la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Xochimilco, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Departamento de Producción Económica. Prolongación Canal de Miramontes 3855, colonia Ex-Hacienda San Juan de Dios, Alcaldía Tlalpan, C.P. 14387, México, Ciudad de México y Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04960, Ciudad de México. Teléfonos 5554837200, ext.7279. Página electrónica de la revista <http://economiaeinnovacionuamx.org/secciones/debates-sobre-innovacion> y dirección electrónica: megct@correo.xoc.uam.mx Editor Responsable: Dra. Gabriela Dutrénit Bielous, Profesora-Investigadora del Departamento de Producción Económica. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título No. 04-2017-121412220100-203, ISSN 2594-0937, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Gabriela Dutrénit Bielous, Departamento de Producción Económica, División de Ciencias Sociales y Humanidades, Unidad Xochimilco. Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Alc. Coyoacán, C.P. 04960, Ciudad de México. Fecha de última modificación: 15 de mayo de 2022. Tamaño del archivo: 13.6 MB.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Análisis bibliométrico de la literatura científica en ciencia de los materiales (2009-2019): propuesta de una política pública ante el cambio de régimen

Andrea Valencia-Martínez

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Desarrollo Científico y Tecnológico para la Sociedad, Ciudad de México

andrea.vama@cinvestav.mx, andreavama93@gmail.com

Resumen

La ciencia de los materiales ha abarcado una amplia brecha de investigación y desarrollo en distintas disciplinas a nivel mundial. México cuenta con un porcentaje bajo de producción científica respecto a este tema en comparación con otros países. El objetivo de este trabajo es analizar la producción científica en el tema de ciencia de los materiales con el fin de mostrar los indicadores que apoyen a la generación de una política pública que permita hacer eficientes los procesos de aplicación e investigación en ciencia de los materiales. Con esta orientación, realizamos un análisis bibliométrico de la producción científica, apoyados en la teoría del análisis de redes sociales para identificar las áreas de oportunidad de esta disciplina. Los indicadores mostraron que los campos disciplinares que están teniendo más impacto son nanotecnología y biomateriales. Esta información reúne elementos clave que permiten desarrollar una política pública en ciencia de los materiales vista desde el enfoque de la 4T.

Palabras clave

Ciencia de los materiales; ingeniería de los materiales; política pública; producción científica; evaluación.

1. Introducción

Los materiales son elementos o compuestos químicos elaborados sistemáticamente y diseñados con características específicas, para cumplir cualquier función identificada por el ser humano (Moreno-Amado, 2018). La importancia de los materiales para la vida es mayor que lo que habitualmente se cree. Prácticamente cada segmento de la vida cotidiana está influido en mayor o menor grado por los materiales, por ejemplo transporte, vivienda, vestimenta, comunicación, recreación y alimentación (Callister, 2007). La gran expansión en el desarrollo de nuevos materiales ha ido a la par del propio desenvolvimiento, cada vez más sofisticado, de técnicas que permiten caracterizarlos (Climent-Montoliu, 1988).

Actualmente, el uso y generación de materiales se ha convertido en uno de los principales ejes de estudio para la comunidad intelectual, la importancia de la investigación científica-tecnológica en este tema ha provocado un incremento en la producción científica. En este contexto surge la necesidad de realizar un estudio de tipo bibliométrico que permita conocer el estado actual de la literatura científica que aborda temas relacionados con el estudio de los materiales.

Según Carrizo-Sainero (2006), la bibliometría es la aplicación de las matemáticas y métodos estadísticos a toda fuente escrita que esté basada en las facetas de la comunicación escrita y que considere los elementos tales como autor, título de la publicación, tipo de documento, idioma, resumen y palabras clave. Los indicadores que se construyen a partir de técnicas bibliométricas cuantifican el número de documentos publicados por un país, institución, grupo de investigación o individuo, así como las citas recibidas (Arenas & Santillán-Rivero, 2002).

Algunos autores (Ugarte, 2020; Araújo-Soares, 2015; Velho, 2011; Vessuri, 2006) mencionan que las publicaciones científicas abordan temas de interés social, en este sentido, los estudios bibliométricos, al permitir el análisis en conjunto de un gran número de publicaciones, posibilitan la identificación de los indicadores más representativos en un área de estudio.

De acuerdo con lo anterior, el presente trabajo se enfoca en el estudio de la producción científica en ciencia de los materiales. Ésta es una disciplina relativamente emergente, que ha generado grandes oportunidades para la investigación y la generación de nuevos componentes para la economía de distintos sectores (Askeland & Fulay, 2010). Entonces, si dentro de los distintos temas que se abordan en la ciencia de los materiales se encuentra una de las opciones de desarrollo que tiene México para mejorar su economía, es necesario implementar un marco normativo que dirija y regule esta actividad.

Lo que se pretende es identificar los tópicos más relevantes en el estudio de la ciencia de los materiales, a partir de la producción científica generada en México, con el fin de hacer una propuesta de política pública en ciencia de los materiales. Los principales elementos para considerar dentro de la política son: procesos de obtención de materiales, sostenibilidad y sustentabilidad, investigación, industria, e inversión pública (PIB). Además, se hace hincapié en el reto de establecer un marco legal que empate con el nuevo modelo de gobierno y que sea aplicado en la nueva Ley de Ciencia y Tecnología propuesta por la 4T.

2. Desarrollo del estudio

2.1. Antecedentes

El estudio de los materiales es uno de los ejercicios más antiguos en la historia de la humanidad. Desde hace milenios, nuestros antepasados utilizaban algunos materiales para fabricar herramientas que ayudaran a la supervivencia de sus comunidades, y armas para la caza de animales que les permitiera conseguir vestimenta y alimento (Valle González, 2004; William & Callister, 2009). Con el paso de los años, la invención de nuevos materiales fue potenciando el desarrollo de una de las áreas más trabajadas por los campos académicos y de investigación.

Las etapas que más destacan por el uso y aplicación de nuevos materiales son: la edad de piedra, donde el hombre primitivo desarrolló armas con materiales de madera, obsidiana, granito y cuarzo, y descubrió cómo crear arcilla con la que comenzaron los primeros soportes para la información escrita (André Salvini, 1995); la edad de cobre, son los orígenes de la metalurgia (técnicas utilizadas para la extracción de metales), se descubre el cobre y las piedras que se utilizaban fueron desplazadas es su gran mayoría por este metal; la edad de bronce, donde la necesidad de tener armas más sofisticadas con mayor resistencia originó el desarrollo de procedimientos como la aleación, fue así como descubrieron el potencial del bronce para las herramientas de uso común (Rodanés & Hernández Vera, 2005); la edad de hierro, este material fue descubierto de manera accidental (serendipia), por los hititas en Turquía, y su resistencia lo marcó como el principal material para armas de la época; la revolución industrial, donde, a partir de los metales y el auge de los plásticos (polímeros) se desarrolló la industria del transporte, permitiendo la movilidad y el comercio (Bizarro, s.f.). Actualmente, el uso de materiales para la fabricación de objetos que facilitan la vida humana se ha convertido en una de las áreas científicas más importantes para la sociedad.

Entonces, la edad de piedra, la edad de los metales, cobre, bronce y hierro, el uso de los polímeros y el (los) objeto(s) de estudio de lo que actualmente se conoce como ciencia e ingeniería

de los materiales son procesos que permiten reflexionar sobre la gran trascendencia que han tenido los materiales para el desarrollo del ser humano a lo largo de la historia (Todd, 2007).

Los materiales son parte de la vida humana en todos los sentidos, se utilizan para cualquier actividad que se quiera realizar. Es por eso que las ingenierías y por consiguiente los ingenieros de cualquier especialidad, son muy importantes para la sociedad, pues ellos son los que se especializan en todos los aspectos relacionados con los materiales, desde la fabricación de éstos, hasta sus procesos, manufactura, diseño, construcción de componentes o de estructuras, e incluso comercio (Askeland, 1998).

2.2. Ciencia e ingeniería de materiales

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 la aprobación industrial y social (Carrizo-Saavedra & Molina, 2017).

La estructura de los diferentes tipos de materiales, su comportamiento y capacidades, las influencias socio-ambientales de los mismos y las condiciones de su uso son absolutamente necesarias para que los científicos e ingenieros sean capaces de diseñar componentes, sistemas y procesos confiables y económicos, mediante una gran variedad de materiales (Sang-Hee, Jeong-Joo, Joon-Hyung & Doh-yeon, 2002).

La investigación de los materiales es la base de la mayoría de los avances tecnológicos. El aspecto más importante de los materiales es que los hace permisibles, es decir, hacen que las cosas sucedan (Askeland & Fulay, 2010). Éste es un campo de investigación multidisciplinario, el cual requiere de distintos perfiles de expertos para estudiarla y generar tangibles en beneficio de la sociedad, que sean capaces de mejorar y/o facilitar las condiciones en las que ésta se encuentra. Representa un escenario mixto de confluencia y de aplicación de otras ciencias, 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; las matemáticas son fundamentales en los procesos de diseño y simulación, permitiendo estudiar teóricamente ciertas propiedades de materiales antes de ejecutar algunos procesos prácticos. Además, 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 (Carrizo-Saavedra & Molina, 2017).

Además de ser un campo multi y transdisciplinario, la ciencia de los materiales es muy importante para el desarrollo de varias industrias como la industria del transporte, la industria extractiva, la industria metal-mecánica, etc., ya que la generación y producción de nuevos materiales y el procesamiento de éstos hasta convertirlos en productos acabados, constituyen una parte fundamental para la economía actual. Es por eso que el proceso de clasificación de los materiales es importante para su estudio y aplicación industrial (Rosales-Colindres, 2010).

Existen diferentes tipos de materiales con distintas estructuras atómicas, y estos a su vez, pueden clasificarse en distintos grupos desde diferentes perspectivas. En este sentido, existen muchas clasificaciones, realizadas por una gran cantidad de autores (Hoffman, 2006; Ratner, 2004; William & Callister, 2009). A partir de la estructura, composición, síntesis y procesamiento, es posible transformar los materiales en componentes útiles. En función de esto, Todd (2007) hace

una clasificación (Tabla 1), considerando también aspectos relacionados con investigación, comercio e industria.

Tabla 1. Clasificación de materiales

Material	Características
Cerámicos y vidrio	La versatilidad de los cerámicos, y la transparencia y dureza del vidrio hacen de estos materiales elementos con numerosas aplicaciones de una enorme importancia económica.
Metales y minerales	Se utilizan como materia prima para la elaboración de una gran cantidad de objetos de uso cotidiano, y su beneficio más importante es a través los metales preciosos.
Polímeros	El uso de polímero permitió la generación de materiales más sofisticados y de bajo costo, mejorando la calidad de los productos en distintas industrias.
Cerámicos avanzados	El uso de los cerámicos en la actualidad tiene futuro en áreas como: la computación, aplicaciones militares, medicina, transporte y disminución de la contaminación.
Biomateriales	El impacto de los biomateriales se ha visto reflejado principalmente en el área médica, a través de la creación de órganos y prótesis, que tienen la capacidad de degradarse.
Nanomateriales	El campo de los nanomateriales es actualmente el más extenso, a partir de esta tecnología es posible trabajar con aspectos de distintas disciplinas, desde la inteligencia artificial, hasta las prácticas médicas y/o biológicas.

Fuente: Elaboración propia, con información obtenida de Tood, 2007

Las múltiples aplicaciones que tiene cada uno de estos materiales los sigue manteniendo dentro de las diversas industrias a las que sirven. A pesar de las ventajas y desventajas (ambientales) que algunos de ellos presentan (Borsani, 2011), la elaboración de productos a partir de estos materiales, por aspectos sociales y económicos no se han podido sustituir. Sin embargo, se ha identificado en la literatura una serie de estrategias que podrían apoyar a este problema.

2.3. Condiciones socio-políticas de la investigación y educación en México

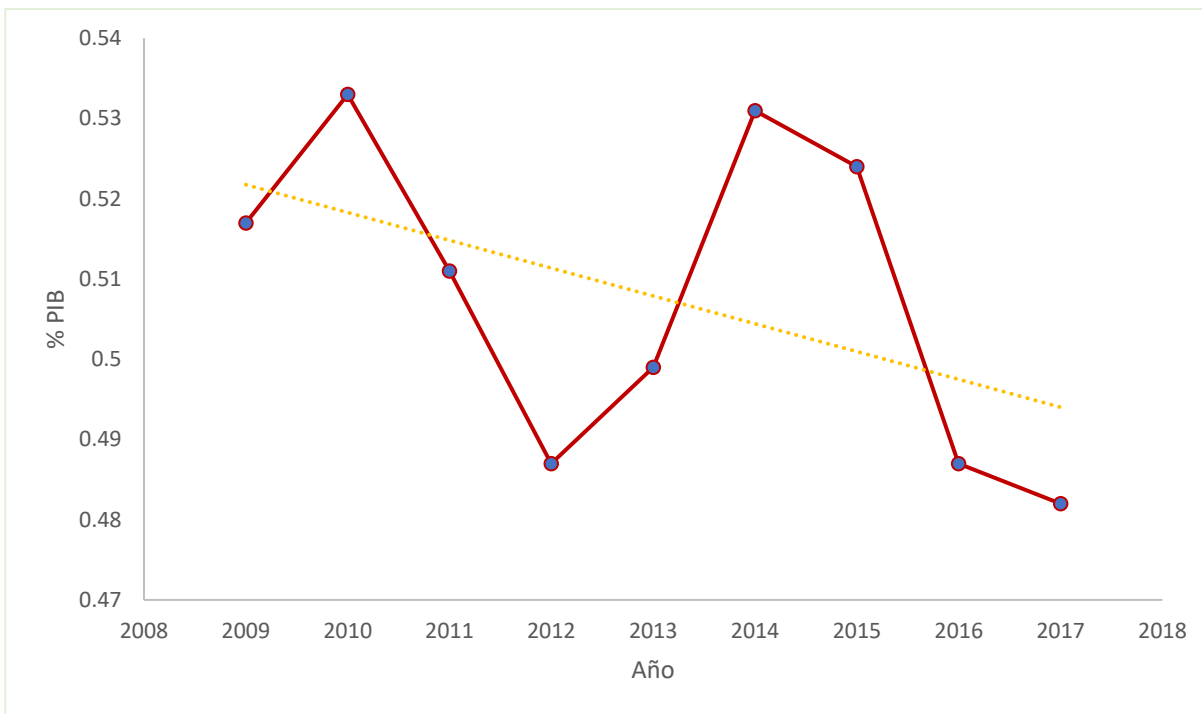
La investigación y educación en un país son elementos importantes para el desarrollo en los distintos sectores que conforman los aspectos sociales, políticos y económicos de la nación. El principal rol de la investigación y desarrollo (I+D) es la generación de información y conocimiento, esto permite resolver las brechas y/o incertidumbres de entendimiento frente a los aspectos clave que rigen a la sociedad (Portafolio, 2018).

Los países desarrollados invierten en promedio, más del 1% del Producto Interno Bruto (PIB) en investigación y desarrollo, además de contar con un marco legal bien definido. A diferencia de éstos, la mayoría de los países de América Latina y el Caribe destinan menos del 0.5% del PIB para la misma causa, y no se ha establecido ningún marco legal regulador (OEA, 2005; OCDE 2017).

El caso de México en cuanto al gasto del PIB en investigación y desarrollo es crucial, los últimos diez años se ha mantenido inestable, teniendo más una tendencia hacia su disminución. En

la Figura 1, se observa que en el año 2010 se invirtió más en I+D en comparación con el resto de los años, para el año 2017 se registra una baja de 0.071 en la inversión del PIB para esta causa.

Figura 1. Porcentaje del PIB destinado a I+D, de 2009 a 2017



Fuente: Banco Mundial, (2019).

A pesar de esta situación, México y en general América Latina han incrementado su producción científica y tecnológica en distintas áreas del conocimiento. La investigación en ciencia de los materiales ha ido en aumento, cada vez son más las escuelas de nivel superior y posgrado que cuentan con programas relacionados al desarrollo de nuevos materiales (Tabla 2).

Tabla 2. Instituciones con programas educativos relacionados con ciencia de los materiales

México	América Latina
Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada	Universidad de Sao Paulo - Brasil
Universidad Nacional Autónoma de México	Universidad Federal de Rio de Janeiro - Brasil
Universidad de Sonora	Universidad de Buenos Aires - Argentina
Universidad de Colima	Universidad de Chile
Instituto Politécnico Nacional	Universidad Nacional de la Plata - Argentina
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados	Universidad de Costa Rica
Universidad Autónoma de Coahuila	Pontificia Universidad Javeriana - Colombia
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	Universidad Federal de Paraná - Brasil

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	Universidad de Antioquia - Colombia
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	Universidad Federal Fluminense - Brasil
Universidad Politécnica de Tulancingo	Universidad de Puerto Rico
Instituto Tecnológico de Calkiní	Universidad de Concepción - Chile
Universidad de Guanajuato	Universidad de Valparaíso - Chile
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato	Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires - Argentina
Instituto Tecnológico de Aguascalientes	Universidad Nacional de San Martín - Argentina

Fuente: Elaboración propia, con información obtenida de SEGOB (2019); Universidades de México (2019); WebMetrics (2019)

Aun cuando la mayor parte de la investigación que se genera en torno al área de ciencia e ingeniería de los materiales viene de los países de primer mundo como Estados Unidos, China, Alemania, entre otros (WOS, 2019), se registra un pequeño aumento en la producción de conocimientos en esta área por parte de los países de América Latina, principalmente México, Brasil, Argentina, Colombia y Chile, derivado de los nuevos planes y programas de estudio que se están generando con el paso del tiempo, y a las necesidades de estos países de tener especialistas en carreras de este tipo, que generen nuevos recursos y empleos para el incremento de las economías en cada región.

La situación de México en cuanto a ciencia y tecnología es discrepante en comparación con los países desarrollados de todo el mundo. Se cuenta con un desarrollo científico y tecnológico moderado por debajo de las dimensiones y potenciales nacionales y sus necesidades (UNAM, 2019). Ante esta situación, el país se ve obligado a recurrir a soluciones externas. Por ello, es necesario implementar programas de apoyo en ciencia y tecnología que mejoren el desarrollo económico nacional. A diferencia de otros países, la inversión en México destinada a ciencia y tecnología proviene del sector público (CDHCU, 2015), las empresas privadas difícilmente invierten parte de su capital a I+D. Esto se debe en gran medida a la incompatibilidad que existe entre los sectores público y privado del país, sus objetivos llevan distintas vías y no hay un órgano regulador que los encamine hacia el crecimiento económico en conjunto. Además, existen pocos planes nacionales de grandes proyectos tecnológicos estratégicos y de largo plazo por parte de los dos sectores (público, privado). Opuesto al caso de México, en Estados Unidos la industria aporta más de la cuarta parte de la inversión para I+D, pues su marco normativo impulsa al país hacia la llamada “economía de la innovación”, además de generar una gran cantidad de patentes que apoyan el desarrollo tecnológico del país (Manfredi, 2017). Por su parte, la Unión Europea impulsó el programa “Horizonte 2020”, con el propósito de potenciar la investigación e innovación, asegurando la competitividad global de su región, beneficiándose organismos públicos, privados, universidades y asociaciones (Comisión Europea, 2014).

El Gobierno Federal de México ha realizado esfuerzos discontinuos e insuficientes para lograr el desarrollo científico y tecnológico que se requiere en el país. No se ha concretado un aumento en el presupuesto, en la planta académica y en el estímulo de la innovación en el sector privado, pero sí se han establecido bases para explotar el potencial del país (UNAM, 2019). Un ejemplo de esto es el Programa de Estímulos a la Innovación (PEIs) (CONACYT, 2009), en donde se apoya a las empresas para que inviertan en proyectos de investigación, desarrollos tecnológicos, innovaciones y desarrollo de productos, procesos y/o servicios. Las estadísticas generadas para calificar los resultados obtenidos por este programa muestran que a partir de éste se han beneficiado

las pequeñas y medianas empresas (PYMES), pero el incremento en investigación, desarrollo e innovación aún es bajo (CONACYT, 2019).

Para mejorar la situación, el Gobierno Nacional debe poner en marcha diversas estrategias que auxilien el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación en México. Si bien, actualmente ya se cuenta con una Política Nacional de Ciencia y Tecnología, pero ésta es de carácter general, no se ha realizado un estudio o investigación en donde se identifiquen las brechas en las que se tiene mayor oportunidad de crecimiento (SIICYT, 2019). México cuenta con diversos recursos que pueden estimular el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación del país. Las crecientes áreas de conocimiento auxilian al mejoramiento y aprovechamiento de dichos recursos, por lo que es necesario apoyar, estimular y difundir una cultura pertinente que posibilite la generación de nuevos recursos que promuevan los tres principales ejes de desarrollo del país: ciencia, tecnología e innovación.

La labor que México tiene que poner en marcha, la cual permita hacer uso de la ciencia, tecnología e innovación en el país no es sencilla. De acuerdo con Léa Velho (2011), cada nación cuenta con diferentes niveles de desarrollo económico, así como diversas aptitudes y capacidades para producir y usar el conocimiento, por lo que seguir o duplicar alguno de los modelos que se utilizan en otros países no es la solución.

Para que México y en general, los países en vías de desarrollo puedan insertarse en la Sociedad del conocimiento (Pérez Zúñiga, Mercado Lozano, Martínez García, Mena Hernández & Partida Ibarra, 2018), es necesario que identifiquen cuáles son las áreas de oportunidad con las que cuentan y las capacidades que tienen como nación para poder explotarlas.

2.4. Un nuevo régimen en el país

En el 2018, México pasó de tener un gobierno de derecha a una izquierda política, que trae consigo un marcado cambio de régimen para el país. Este nuevo régimen es denominado por el actual presidente de México como “cuarta transformación” (4T). Ésta hace referencia a la transformación del modelo de desarrollo económico, que desde la década de los 80’s depende en mayor medida del comercio con Estados Unidos para fortalecer el mercado interno, tratando de producir en el país todo lo que éste requiere. Además de un gasto equitativo que ayuda a erradicar la desigualdad, la pobreza y la corrupción (Cacelín, 2018). Otro aspecto que destaca ante la propuesta de la 4T en México está relacionado con temas de protección al medio ambiente, esta propuesta del “nuevo gobierno” se ajusta a los decretos expresados en la reciente agenda internacional (Naciones Unidas, 2015), en cuestiones de calentamiento global y cambio climático (huella de carbono).

3. Metodología

3.1. Estrategia metodológica

Esta investigación tiene una metodología mixta (CUAN-cual), con mayor énfasis en los datos cuantitativos.

- Datos cuantitativos. Identificación de la producción a partir de técnicas bibliométricas.
- Datos cualitativos. Investigación documental de las leyes, normas, directrices, políticas, etc.

3.2. Fuentes de información

Se utilizó como fuente de información la producción científica publicada en revistas científicas (de corriente principal), indizadas en la Web of Science (WoS: <http://apps.webofknowledge.com/>), relacionada con el tema de ciencia e ingeniería de los materiales. Los descriptores utilizados para la búsqueda son: “MATERIALS SCIENCE” y “MATERIALS ENGINEERING”, además del uso de operadores booleanos para delimitar la búsqueda, en un periodo de diez años (2009-2019).

También se consultó el sitio web del Gobierno Federal (SEGOB: <https://www.gob.mx/segob>), la página del Laboratorio Nacional de Políticas Públicas (LNPP: <https://www.lnpp.mx/>) y la página de la Organización de las Naciones Unidas (ONU: <https://www.un.org/es/>) para identificar los reglamentos nacionales e internacionales que inciden en algún aspecto relacionado con el tema de ciencia y/o ingeniería de los materiales.

3.3. Materiales y métodos

Para el desarrollo de esta investigación se utilizaron dos herramientas, a partir de las cuales fue posible graficar y visualizar los datos obtenidos:

- Pajek. Herramienta que permite el desarrollo de estructuras de datos en forma de red, formadas a partir de tres (o más) tipos de archivos: matrices (términos); vectores (frecuencia de aparición); y clusters (grupos) (Andrej & Batagekj, 2016).
- VOSviewer. Herramienta de software a partir de la cual es posible construir redes bibliométricas, además, permite realizar minería de texto a partir de los datos extraídos de la literatura científica (VOSviewer, 2019).

3.4. Procesamiento de los datos

En el método bibliométrico (cuantitativo), se recuperaron 49,218 registros referentes al tema de Ciencia de los Materiales, de los cuales, únicamente 798 tienen alguna relación con México, es decir que son hechos en México, hacen referencia a México o tienen autores mexicanos.

Primero se hizo un análisis por país, para comparar la producción mexicana con el resto de los países que se encuentran trabajando con el tema de ciencia de los materiales. Posteriormente se hizo el análisis de la producción mexicana por temas y años, con el fin de observar la evolución de la actividad científica en este tema.

La interpretación de los datos se hizo a partir de la teoría de “Análisis de Redes Sociales” (ARS). El ARS es una metodología de visualización de las estructuras sociales generadas a partir de relaciones construidas en intercambios y flujos, siendo estas relaciones las que determinan el comportamiento de los actores sociales (Vélez Cuartas, 2006), es una aproximación metodológica y teórica que enfatiza el estudio de las relaciones entre actores, tanto relaciones entre personas, organizaciones, países o cosas. Con este método, es posible analizar los diferentes tipos de relaciones que se establecen entre una gran variedad de actores (Latour, 2005). Además, se hizo una analogía con la “Teoría de los campos” del sociólogo francés Pierre Bourdieu (1984), para determinar la posición, estructura y relación de los nodos de las redes (Durán, 2008).

En el caso del método de investigación documental (cualitativo), se creó una matriz de análisis (Tabla 3), a partir de la cual se identificaron los temas que se incluyen en la legislación nacional, sobre ciencia de los materiales, y se hace una comparación con los temas que se abordan en leyes decretadas en otros países.

Tabla 3. Matriz de análisis

País	Tema
México	
Brasil	
Estados Unidos	
Unión Europea	
China	

Fuente: Elaboración propia

Además de México, en la matriz se incluyeron otros cuatro países, ubicados en diferentes zonas geográficas. La elección de estos países se realizó considerando dos criterios: 1. el fácil acceso a la información que hace referencia a sus respectivas legislaciones; y 2. la relevancia con la que indica cada tema que aborda.

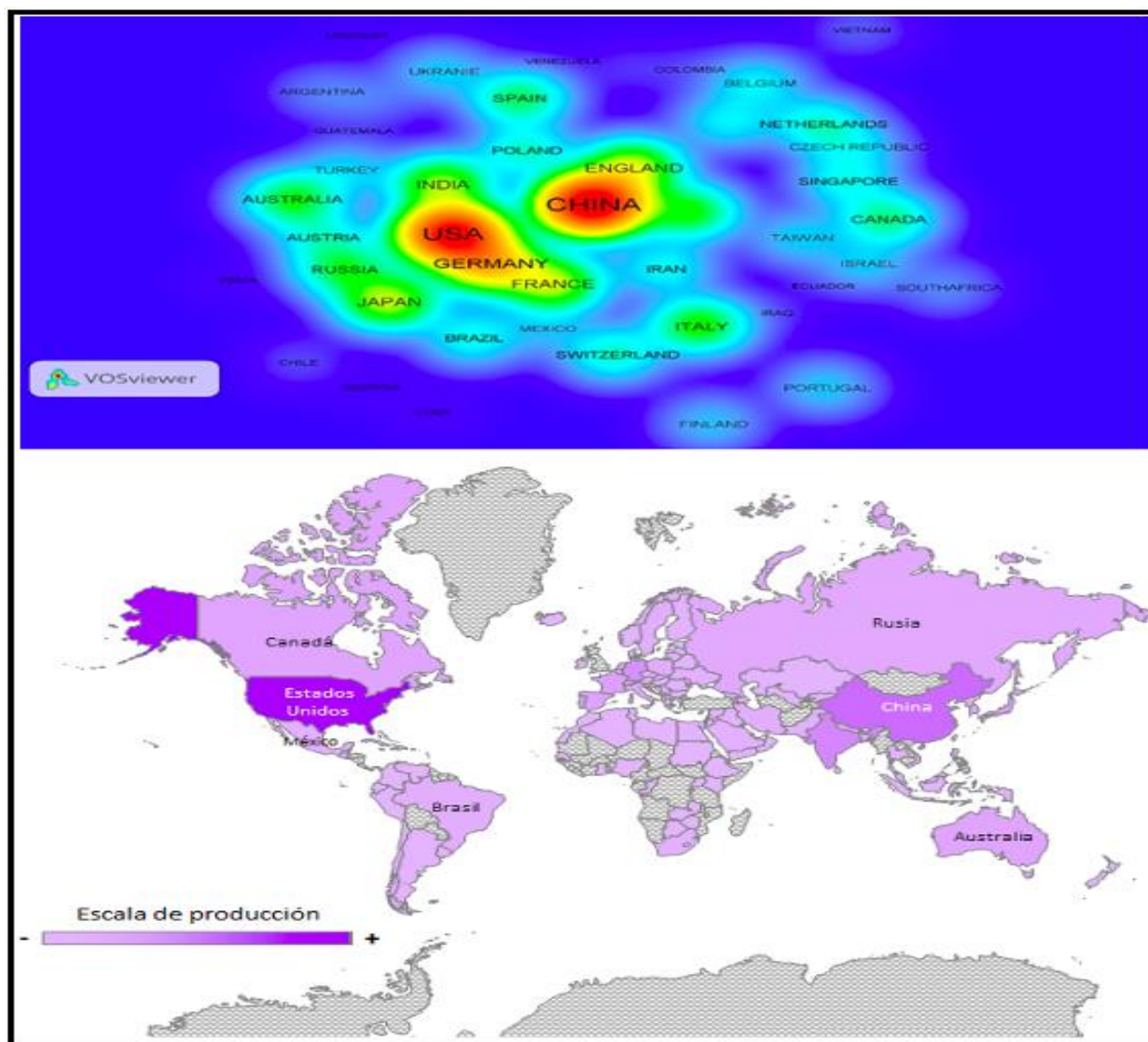
4. Resultados

Los resultados sobre el estado en el que se encuentra México respecto al tema abordado se analizan a partir de cuatro indicadores: país; tema; años; y leyes.

4.1. País

De acuerdo con los datos obtenidos de WoS, el total de países que han trabajado los últimos años en temas relacionados con ciencia de los materiales es de 103, pero solo 45 de ellos hacen investigación específica del tema. A partir de la Figura 2 se puede observar que la producción de Estados Unidos y China es sobresaliente en comparación con el resto de los países, y que además la colaboración con otros países es bastante amplia. El caso de Finlandia y Portugal es peculiar, pues aun cuando su producción no es tan grande como la de Estados Unidos y China, sí es sobresaliente, y su trabajo colaborativo es menor, es decir que su producción es en gran parte endogámica. En el caso de México, se observa una producción baja, ocupa el lugar 27 en el ranking de producción científica sobre el tema, y aproximadamente el 65% de la producción nacional es realizada en colaboración con otros países, mientras que el 35% restante de la producción es totalmente local.

Figura 2. Producción por países.



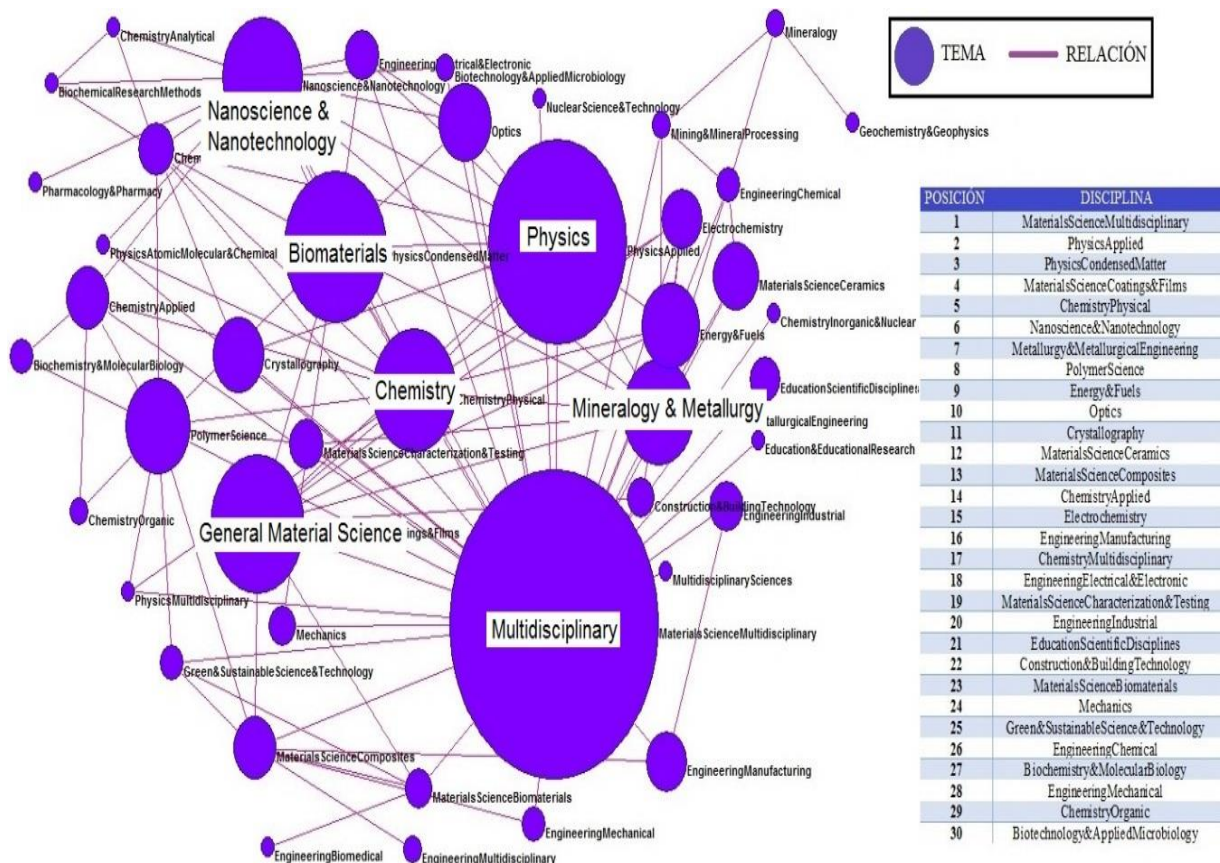
Fuente: Elaboración propia, con información obtenida de WOS (2019)

4.2. Temática/Disciplina

Existen diferentes disciplinas que abordan las ciencias de los materiales desde distintas áreas del conocimiento. Este es un campo de estudio de los más trabajados en el mundo, pues sus diversas aplicaciones tienen un impacto significativo en muchos de los sectores sociales. Al analizar la producción, se observa que el campo multidisciplinar es el que más trabaja sobre estos temas. La física, la química y la biotecnología también destacan entre las disciplinas que abordan la ciencia de los materiales. La nanociencia y nanotecnología, además de los biomateriales, son campos emergentes que han tenido un crecimiento exponencial y que actualmente están teniendo un impacto importante en el desarrollo de I+D en muchos países. En cuanto a la minería y metalurgia, a pesar de ser uno de los sectores donde se explotan más materiales, su impacto no es relevante,

pues éste se encuentra en manos de las empresas transnacionales, lo que ocasiona que la investigación sea el objetivo menos sobresaliente (Figura 3).

Figura 2. Producción por países.



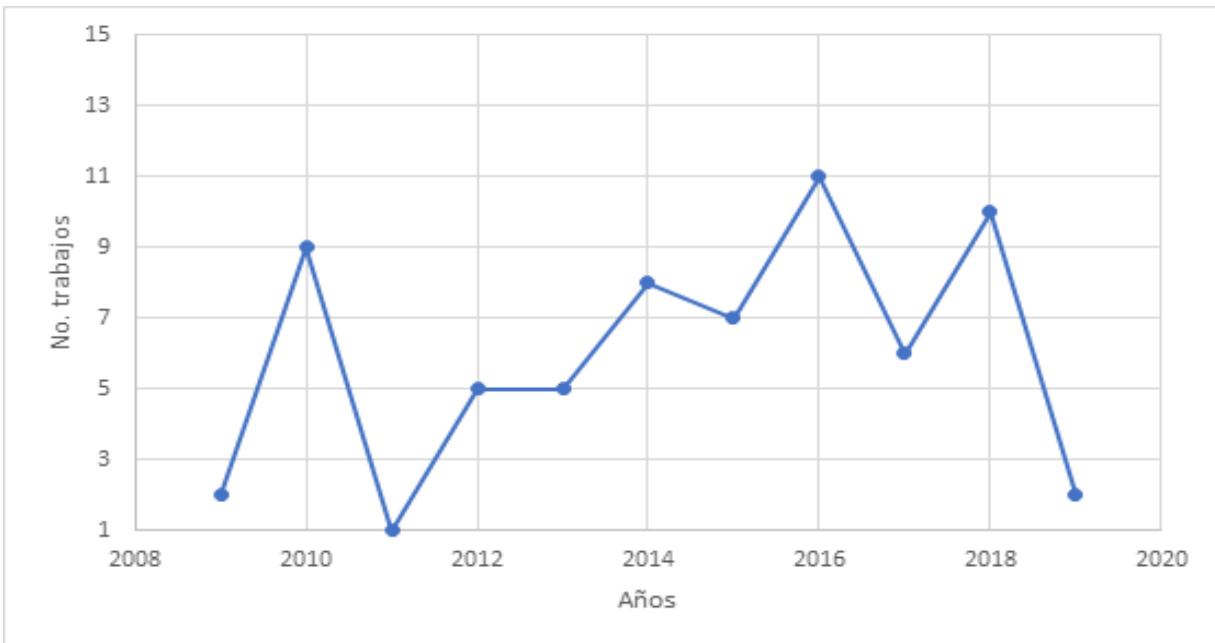
Fuente: elaboración propia, con información obtenida de WOS (2019)

4.3. Años

En la Figura 4 se puede ver la producción por año (2009-2019) de México en temas relacionados con ciencia de los materiales. Se observa que en 2011 se presentó una caída considerable. A partir del 2012, hasta el 2014 aumento aproximadamente un 15%. Después de ese periodo, la producción se ha mantenido inestable, lo que muestra que dicha producción sí se ha visto afectada con los cambios en el gasto público (Figura 1).

México tiene aproximadamente 0.00077 artículos de ciencia de los materiales por número de habitante (129,20 millones) (Banco Mundial, 2019). Si comparamos la producción de Alemania, en donde tienen 1.67 artículos por número de habitante (82,79 millones) (Banco Mundial, 2019), México registra una producción significativamente baja. Además de resaltar que si se compara con Estados Unidos o China (los países con mayor producción en el tema), la escala de comparación sería más amplia.

Figura 4. Producción mexicana por años



Fuente: Elaboración propia, con información obtenida de WOS (2019)

4.4. Leyes

De acuerdo con la información obtenida a partir de las legislaciones que se establecen en cada uno de los países incluidos en la Tabla 4, se puede observar que los temas que se abordan varían de acuerdo con el tipo de gobierno, los objetivos que cada país tiene y a los planes estratégicos que se han llevado a cabo.

Tabla 4. Temáticas legislativas en torno al tema de ciencia de materiales

País	Tema
México	Apoyo a la investigación Desarrollo y producción de nuevos materiales
Brasil	Salud Investigación Innovación
Estados Unidos	Producción Generación de nuevos materiales Desarrollo tecnológico (patentes) Empleo
Unión Europea	Medio ambiente Sustentabilidad Salud Innovación Información
China	Empleo Investigación

Fuente: Elaboración propia, con información obtenida de (SEGOB, 2019; LNPP, 2019)

5. Conclusiones

México no cuenta con un marco regulatorio que rijan el desarrollo y la investigación específicamente en el tema de ciencia de los materiales. Existe una Política Nacional de Ciencia y Tecnología en donde se incluyen los aspectos relacionados al tema, pero no establece las pautas necesarias para eficientar los procesos de aplicación e investigación en materiales, solo hace referencia al uso sistemático del conocimiento y la investigación dirigidos hacia la producción y desarrollo de nuevos materiales.

La propuesta de la nueva Ley de Ciencia y Tecnología enfatiza en temas humanistas y ambientales, por lo que resaltar en materia de ciencia de los materiales tomaría un sentido relevante, pues el desarrollo de este campo con orientación sustentable es una propuesta que podría parecer atractiva a los intereses de la 4T.

De acuerdo con la producción registrada en otros países, los campos disciplinares que están teniendo más impacto en el desarrollo científico y tecnológico son nanomateriales y biomateriales. Con este indicador, se asume que en México es necesario incrementar la inversión del PIB a I+D, e impulsar los programas educativos que se enfocan en nano y biomateriales, para generar los cimientos base para el desarrollo del país.

Aunado a esto, es necesario que México cuente con una ley de educación superior, que incentive al desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación, con un enfoque social, donde se traduzcan todos esos desarrollos para beneficio de la comunidad.

También es necesario considerar estrategias que impulsen el desarrollo en ciencia de los materiales como la generación de conocimientos con una orientación estratégica; fortalecimiento de la innovación; y capital humano altamente especializado.

En México se debe considerar que, un país que apuesta por educación, desarrollo de ciencia, tecnología e innovación, y que además tiene claro que la economía debe ser basada en el conocimiento, tiende al crecimiento.

Como estrategia para aumentar la producción en materiales, se propone la difusión de programas educativos que integren la investigación y desarrollo de materiales; así como la generación de nuevos productos, apoyados de esta ciencia, que se integren en el mercado nacional e internacional.

6. Referencias

- André Salvini, B. (1995). Y el verbo se hizo arcilla. *El correo de la UNESCO*, (22), 11-13. Recuperado de: <https://www.biblioteca.org.ar/libros/321091.pdf>
- Andrej, M. & Batagekj, V. (2016). *Análisis y visualización de redes de gran tamaño con el paquete del programa Pajek*. Recuperado de: <http://ars-uns.blogspot.com/2016/04/analisis-y-visualizacion-de-redes-de.html>
- Araújo-Soares, T. (2015). Ciencia para la resolución de problemas sociales: recuperando el aporte de Amílcar Herrera. En Lago Martínez, S. & Correa, N.H. (Coords.), *Desafíos y dilemas de la universidad y la ciencia en América Latina y el Caribe en el siglo XXI*. Argentina: Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Sociales.
- Arenas, J.L. & Santillán-Rivero, E.G. (2002). Bibliometría ¿para qué? *Biblioteca Universitaria*, 5(1), 3-10.
- Askeland, D.R. (1998). *Ciencia e ingeniería de los materiales*. (3ª ed.). México: International Thompson Editors.
- Askeland, D.R. & Fulay, P.P. (2010). *Fundamentos de ingeniería y ciencia de materiales*. (2ª ed.). D.K. Bhattacharya (trad.). México: Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Química e Industrias Extractivas.

- Banco Mundial. (2019). *Gasto en investigación y desarrollo (% del PIB)*. UNESCO. Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/indicador/GB.XPD.RSDV.GD.ZS?end=2016&locations=MX&start=1996&type=shaded&view=chart>
- Bizarro, M. (s.f.). *Historia de los materiales*. Recuperado de: <http://www.iim.unam.mx/mbizarro/1-Historia%20de%20los%20materiales%202013-2.pdf>
- Borsani, M.S. (2011). *Materiales ecológicos: estrategias, alcance y aplicación de los materiales ecológicos como generadores de hábitats urbanos sostenibles*. Recuperado de: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/13759/Borsani,%20Mar%C3%ADa%20Silvia.pdf>
- Bourdieu, P. (1984). *Sociología y cultura*. México: CONACULTA. Recuperado de: <https://perio.unlp.edu.ar/catedras/system/files/bourdieu-pierre-sociologia-y-cultura.pdf>
- Cacelín, J. (2018). *¿En qué consiste la cuarta transformación que López Obrador quiere para México?* Univisión noticias. Recuperado de: <https://www.univision.com/noticias/america-latina/en-que-consiste-la-cuarta-transformacion-que-lopez-obrador-quiere-para-mexico>
- Callister, W.D. (2007). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. Barcelona: Editorial Reverté S.A.
- Carreras y Licenciaturas en *Materiales*. (2019). México: Universidades de México.
- Carrizo-Sainero, G. (2006). *Hacia un concepto de bibliometría*. Recuperado de: <http://www.ucm.es/info/multidoc/publicaciones/journal/pdf/bibliometriaesp.pdf>
- Carrizo, J.G., Saavedra, M.J. & Molina, M.F. (2017). *¿Hacia dónde debe dirigirse la enseñanza de la ciencia de los materiales? Educación química*, 28(2), 107-115.
- CDHCU (Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión). (2015). *Ley de Ciencia y Tecnología*. México: SEGOB.
- Climent-Montoliu, F. (1988). *La ciencia de los materiales*. España: RACO
- Comisión Europea. (2014). *Horizon 2020: en breve*. Unión Europea: Dirección General de Investigación e Innovación.
- CONACYT. (2009). *Programa de Estímulos a la Innovación*. México: SEGOB. Recuperado de: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/programa-de-estimulos-a-la-innovacion>
- CONACYT. (2019). *Programa de estímulos a la investigación, desarrollo tecnológico e innovación: resultados y casos de éxito*. México: SEGOB.
- Duran, G. (2008). *Teoría de grafos*. Uruguay: Universidad de la República.
- Heredia, B. (2019). *¿Cómo explicar el poco aprecio de la 4T por la cultura y la ciencia?* El financiero. Recuperado de: <https://www.elfinanciero.com.mx/opinion/blanca-heredia/como-explicar-el-poco-aprecio-de-la-4t-por-la-cultura-y-la-ciencia>
- Hoffman, A.S. (2006). Introduction to materials science. *MRS Bull*, 31(2), 59-63.
- Latour, B. (2005). *Reassembling the social: an introduction to actor-network-theory*. Reino Unido: Oxford University Press.
- LNPP. (Laboratorio Nacional de Políticas Públicas). <https://www.lnpp.mx/>
- Manfredi, J.L. (2017). Economía de la innovación. *Estudios de política exterior*. Recuperado de: <https://www.politicaexterior.com/articulos/economia-exterior/economia-de-la-innovacion-en-ee-uu/>
- Moreno-Amado, M. (2018). Pero... ¿qué es un material? Una aproximación a este concepto. *Material-ES*, 2(4), 63-66.
- Naciones Unidas. (25 de septiembre de 2015). *Transformar nuestro mundo: agenda 2030 para el desarrollo sostenible*. Recuperado de: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=S
- OCDE. (2017). *Estudios Económicos de la OCDE*. México.
- OEA. (2005). *Ciencia, tecnología, ingeniería e innovación para el desarrollo: una visión para las Américas en el siglo XXI*. USA: OEA.
- Organización de las Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/>
- Pérez Zúñiga, R., Mercado Lozano, P., Martínez García, M., Mena Hernández, E. & Partida Ibarra, J.A. (2018). La sociedad del conocimiento y la sociedad de la información como la piedra angular en la innovación tecnológica educativa. *Revisata Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 8(16).
- Portafolio. (2018). *La importancia de invertir en investigación en el sector real de la economía*. Colombia: El tiempo casa editorial.
- Ranking Web de Universidades: ingeniería en materiales*. (2019). WebMetrics.
- Ratner, B. D., & Bryant, S. J. (2004). Biomaterials: where we have been and where we are going. *Rev. Biomed. Eng.*, 6(1), 41-75.
- Rodanés, J. & Hernández Vera, J.A. (2005). *La edad de bronce y la primera edad del hierro*. 45-63.
- Rosales-Colindres, C.R. (2010). *Manejo y control de materiales en la industria*. (Trabajo de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Guatemala.

- Sang-Hee, C., Jeong-Joo, K., Joon-Hyung, L. & Doh-Yeon, K. (2002). Educación en ciencia e ingeniería de materiales en universidades coreanas. *Journal of Materials Education*, 24(1-3), 135-144-
- SEGOB (Gobierno de México). <https://www.gob.mx/segob>
- SIICYT (Sistema Integrado de Información sobre Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación). <http://www.siicyt.gob.mx/index.php>
- Todd, L.E. (Comp.). (2007). *La ciencia de los materiales*. México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Ugarte, J. (2020). *El reto de la ciencia, ser más útil para atender los problemas soiales*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- UNAM. (2019). *100 propuestas para el desarrollo 2019-2024*. México: Programa Universitario de Estudios del Desarrollo.
- Valle González, A. (2004). *Historia de los minerales*. España: Universidad de Valladolid.
- Vélez Cuartas, G. (2006). El cambio en las redes: una aproximación a las relaciones sociales desde el lenguaje, la representación y la institucionalización. *Revista Hispana para el Análisis de Redes Sociales*, 10(1), 32p.
- Velho, L. (2011). La ciencia y los paradigmas de la política científica, tecnológica y de innovación. En Arellano Hernández, A. (Dir.), *Estudio Social de la ciencia y la tecnología desde América Latina* (99-123). Bogotá: Siglo del Hombre Editores.
- Vessuri, H. (2006). *Conocimiento y necesidades de las sociedades latinoamericanas*. Caracas: Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas.
- VOSviewer. <https://www.vosviewer.com/>
- William, D. & Callister, J. (2009). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. USA: Universidad de Utah, Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería.
- WOS (Web of Science). <http://apps.webofknowledge.com>