

EL GRAFENO Y LA MINERÍA EN AMÉRICA LATINA: ESCENARIOS AL 2030

FERNANDO ORTEGA SAN MARTÍN
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú
fernando.ortega@cegec.org

CARLOS HERNÁNDEZ CENZANO
Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú
carlos.hernandez@pucp.edu.pe

RESUMEN

En el contexto de los avances acelerados de la convergencia tecnológica, especialmente en el campo de los nuevos materiales Nanoestructurados, encontramos el caso del grafeno que según la literatura científica tiene una serie de aplicaciones industriales potenciales que en muchos casos conducirían a la sustitución de los metales, ya sea solo o en combinación con diferentes materiales. Sin embargo, el interés en Latinoamérica respecto a este material que promete ser tan versátil no ha alcanzado un nivel importante, si lo comparamos con otras regiones del Globo. Dado que Latinoamérica es una de las regiones que exporta un alto volumen de materias primas, nuestros países deberían prestar una mayor atención a los avances de las aplicaciones del grafeno e incluso desarrollar diferentes programas de I+D+i con el fin de ser una de las áreas geográficas donde se generen estas aplicaciones, para reducir el impacto de las posibles sustituciones. Por estas razones, este trabajo tiene el objetivo de comprender las implicancias del grafeno en la minería en América Latina hacia el año 2030 mediante las herramientas de la prospectiva y la vigilancia tecnológicas. Al inicio, se presenta la teoría de la prospectiva y la vigilancia tecnológicas, los antecedentes del grafeno y sus futuros usos. También se expone la metodología utilizada y el proceso de esta que permite identificar los posibles escenarios al 2030 para el grafeno y la minería en América Latina. Finalmente, se presentan las conclusiones correspondientes al trabajo.

Palabras clave: *grafeno, minería, latinoamérica, prospectiva tecnológica, vigilancia tecnológica, escenarios futuros, cobre, plomo, zinc, hierro, estaño, litio, germanio*

1. INTRODUCCIÓN

En el modo como se vienen dando los avances tecnológicos y la innovación, cada vez los cambios en los diferentes campos tecnológicos se dan en lapsos menores, el grafeno no es la excepción, y se están dando dos grupos de investigaciones las que exploran las aplicaciones en base a lo avanzado como es el caso de Singh et al (2011) que indica que el grafeno está siendo investigado en casi todos los campos de la ciencia y la ingeniería, en dispositivos electrónicos y optoelectrónicos, sensores químicos, nanocompuestos y almacenamiento de energía, menciona los procesos de síntesis de grafeno de una sola capa, nanorribones de grafeno, grafeno químicamente derivado y polímeros a base de grafeno y compuestos de nanopartículas y sus correspondientes propiedades estructurales, térmicas, ópticas, eléctricas, sus posibles aplicaciones y el impacto del grafeno en el medio ambiente. Por otra parte se investigan usos

específicos del grafeno, como en el caso de Watanabe, Conwill, Tsuya & Koide (2012) se explora la resistencia de contacto entre un elemento metálico de diferentes variedades (Ti, Ag, Co, Cr, Fe, Ni y Pd) con un canal de grafeno donde se halló que la resistencia del contacto depende de la limpieza química y el control de la microestructura de las películas metálicas. De la búsqueda con la aplicación en Patent Inspiration (2017), las patentes relacionadas al grafeno tienen un aumento muy importante, pues se encontró que vienen incrementándose cada año y para el 2016 se tienen 7364 patentes y en el caso de los metales Cobre, Plomo, Zinc, Hierro, Estaño, Litio y Germanio, el número de patentes es mucho menor que las patentes de grafeno.

Sin embargo en el interés de Latinoamérica por el grafeno no tiene un nivel importante, lo que podría ser una primera señal de la falta de previsión ante las posibles tecnologías disruptivas del grafeno pues de acuerdo a Google Trends (2017) el mayor interés en los últimos 5 años es en los países asiáticos, los países europeos, Oceanía y Norte América, en general en los países de Latinoamérica los niveles son inferiores a estas cuatro regiones. En parte esta falta de interés puede deberse a las inversiones que se han hecho y las que se proyectan en el sector minero, según Proexpansion (2015) los países que más invierten en la región son Estados Unidos, Canadá, Australia y China, para el caso de Perú en el 2013 recibió una inversión del orden de los US\$10 mil millones por parte de estos inversionistas en el sector minero y para el 2020 se proyecta una inversión de US\$50 mil millones, la proyección de inversión para Chile es de US\$105 mil millones para el 2025.

En este artículo inicialmente se presentan la metodología y el proceso de investigación, los antecedentes sobre grafeno y la minería en América Latina, para luego aplicar estos insumos en encontrar y analizar los escenarios al 2030 del grafeno y la minería en América Latina.

Para ello, la estrategia que se plantea seguir es la revisión la teoría de las metodologías de la prospectiva y la vigilancia tecnológicas, de los antecedentes sobre el grafeno, síntesis y posibles aplicaciones, así también de la minería en América Latina y luego explotar esta información para encontrar los escenarios probables al 2030 del grafeno y la minería en América Latina.

2. METODOLOGÍA

2.1 Definición del estudio

El presente es un estudio cuantitativo-cualitativo (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010), es cuantitativo por las técnicas aplicadas para recoger la información base y cualitativo debido a la revisión e interpretación de tendencias, en la prospectiva son métodos complementarios (Godet, Monti, Meunier, & Roubelat, 2000). Los datos recogidos mediante diferentes herramientas permiten hacer el análisis acerca del estado y características de los escenarios probables al 2030 del grafeno y la minería en Latinoamérica. Haciendo uso de las herramientas de la prospectiva y la vigilancia tecnológicas se determinarán los probables escenarios y el escenario meta del grafeno y la minería en Latinoamérica.

2.2 Estudio de caso y su diseño

El estudio de caso tiene por objetivo encontrar las situaciones o las evidencias que son nuevas en un fenómeno, a fin de plantear teorías, resolver interrogantes en un espacio y tiempo definido (Castro, 2010) con el fin de describir, explicar o interpretar el fenómeno investigado (Merriam, 1998; Yin, 2009).

Yin (2009) señala que la investigación se diseña enlazando los datos a ser recolectados con las preguntas planteadas en el estudio y sus cinco componentes del diseño se presentan a continuación:

Preguntas de estudio: Las preguntas de investigación tienen las formas ¿qué? o ¿cuáles? En este trabajo la pregunta general es: ¿Qué escenarios probables enfrentará la minería al 2030 en Latinoamérica, por las investigaciones e innovaciones del grafeno? Y las preguntas más específicas son: ¿Qué opciones tiene la minería en Latinoamérica hacia el 2030 en un entorno creciente de aplicaciones de materiales nanoestructurados como el grafeno?, ¿Cómo pueden las investigaciones e innovaciones del grafeno influir en el futuro de la minería en Latinoamérica?

Proposiciones: Las proposiciones tienen por objetivo establecer el centro de atención de lo que debe ser examinado en el alcance del estudio (Yin, 2009), en el caso de este estudio la proposición principal es que el futuro de la minería de Latinoamérica depende en gran medida de la introducción de los sustitutos de los metales en base al grafeno al mercado.

Unidad de análisis: La unidad de análisis de este trabajo es la vinculación que existe entre el grafeno y la minería de Latinoamérica y sus escenarios al 2030. La información que se recoja será por medio de herramientas de la vigilancia tecnológica.

Relación lógica entre las preguntas y las proposiciones: De acuerdo a lo mencionado al ser un estudio en base a la prospectiva y la vigilancia tecnológicas, se busca entender los escenarios probables al 2030 del grafeno y la minería en Latinoamérica, por lo que la relación entre las preguntas y la proposición es directa.

Criterios para interpretar resultados: En este caso se analizarán los escenarios que se obtengan para poder identificar el futuro que enfrenta la minería en Latinoamérica con relación al grafeno hacia el año 2030.

2.3 La Prospectiva, los estudios y la construcción del futuro

De acuerdo a uno de sus padres fundadores, Gastón Berger, la prospectiva es “la ciencia que estudia el futuro para comprenderlo y poder influir sobre él” (Ortega, 2013). Existen diferentes enfoques dentro de la prospectiva en función de la principal actividad que quiere analizar. Así, la prospectiva tecnológica, según la OCDE, es “un conjunto de intentos sistemáticos para mirar a largo plazo el futuro de la ciencia, la tecnología, la economía y la sociedad, con el fin de identificar aquellas tecnologías emergentes que probablemente generarán los mayores beneficios económicos y sociales” (Medina & Ortégón, 2006).

Los orígenes de la Prospectiva se dan en Francia a finales de los años 50 cuando los filósofos Gastón Berger y Bertrand de Jouvenel proponen los estudios del futuro en base a la identificación de los futuribles o futuros posibles, de los cuales se selecciona el adecuado para construirlo a partir del presente con acciones precisas preparadas (Mojica, 2008).

Mojica (2008) señala que para gestionar la incertidumbre y construir el futuro se siguen las siguientes fases:

- a. Identificar los factores de inercia (tendencias) y los factores de cambio (incertidumbre)
- b. Priorizar las variables estratégicas.
- c. Analizar a los actores, su influencia y estrategias que podrían tener cada uno de estos.
- d. Diseñar los escenarios y seleccionar un escenario apuesta.
- e. Definir las estrategias para construir el escenario apuesta.

El campo de acción de la Prospectiva es la intersección de las disciplinas: Estudios del futuro, Planificación Estratégica y Análisis de Políticas (Medina & Ortégón, 2006; Gavigan, et al., 2002).

De acuerdo a lo indicado por Ortega (2013) el trabajo de un estudio prospectivo se divide en las siguientes etapas:

- a. Definición del estudio
- b. Búsqueda y análisis de la información relevante
- c. Identificación de drivers
- d. Validación de los drivers
- e. Construcción de escenarios
- f. Validación de los escenarios
- g. Preparación y presentación

2.4 Identificación de los Drivers, Validación de Drivers y Construcción de escenarios

Existen diferentes métodos para identificar y validar los drivers, en este caso se aplicará el análisis exploratorio y el morfológico por parte de los autores en base a los antecedentes recogidos.

2.5 El análisis Morfológico

El método del análisis morfológico es utilizado para explorar los futuros posibles a partir de estudiar todas las combinaciones resultantes de la descomposición de un sistema, el objetivo del análisis morfológico es evidenciar la conducta de los nuevos productos en previsión tecnológica pero también es utilizado en la construcción de escenarios (Godet, Monti, Meunier, & Roubelat, 2000).

3. BÚSQUEDA Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RELEVANTE

3.1 El grafeno y su obtención

Los materiales estructurados a escala nanométrica, es decir los nanomateriales, obtenidos de diferentes elementos o compuestos, como es el caso del carbono del que se obtienen nanotubos de carbono y el grafeno que es una sola capa atómica de carbono o con un número

reducido de capas, en el 2004 fue producido e identificado por Andre K. Geim y Konstantin S. Novoselov, los métodos de obtención desarrollados como la exfoliación micromecánica que es la separación de las capas más externas de un sólido en láminas, la deposición química con la que se hace crecer epitaxialmente el grafeno de pocas capas, la exfoliación de óxido de grafito por expansión térmica o por dispersión ultrasónica que permiten obtener grafeno en grandes cantidades y de manera económica (Méndez, Rosu, & Torres, 2012).

3.2 Aplicaciones del grafeno

Se está avanzando en la forma de combinar las funciones estructurales del grafeno para la electrónica, también sus aplicaciones se extiende a nuevas aplicaciones de sensores y compuestos que aprovechan las propiedades químicas, biológicas y mecánicas de sus estructuras. La alta conductividad eléctrica del grafeno y la gran área superficial por unidad de masa lo convierten en un material apropiado para el almacenamiento de energía en baterías y súper capacitores, esto podría impactar en los vehículos eléctricos debido a la posibilidad de las baterías ligeras y rápidamente cargables daría al transporte amigable con el medio ambiente, los materiales compuestos fuertes y ligeros también permitirían la construcción de diferentes vehículos y otras estructuras con menos material y energía (Ferrari, et al., 2015) tal como se esquematiza en la **Figura 1**.



Figura 1- Las aplicaciones del grafeno
Fuente: Ferrari, et al. (2015)

3.3 El interés de Latinoamérica en el grafeno

De acuerdo a lo explorado con Google Trends (2017), el mayor interés en el grafeno se encuentra en los países de Asia, Europa, Oceanía y América del Norte. En términos generales, los países de Latinoamérica, que es una de las Regiones con mayor exportación de minerales

metálicos, presentan poco interés en el grafeno, no sólo en términos de investigación sino también en la discusión pública, tal como se puede observar en la **Figura 2** para las palabras *graphene* y grafeno y en la **Figura 3** la adición del interés por ambas palabras.



Figura 2- Interés en el grafeno por regiones
Fuente: Google Trends (2017)

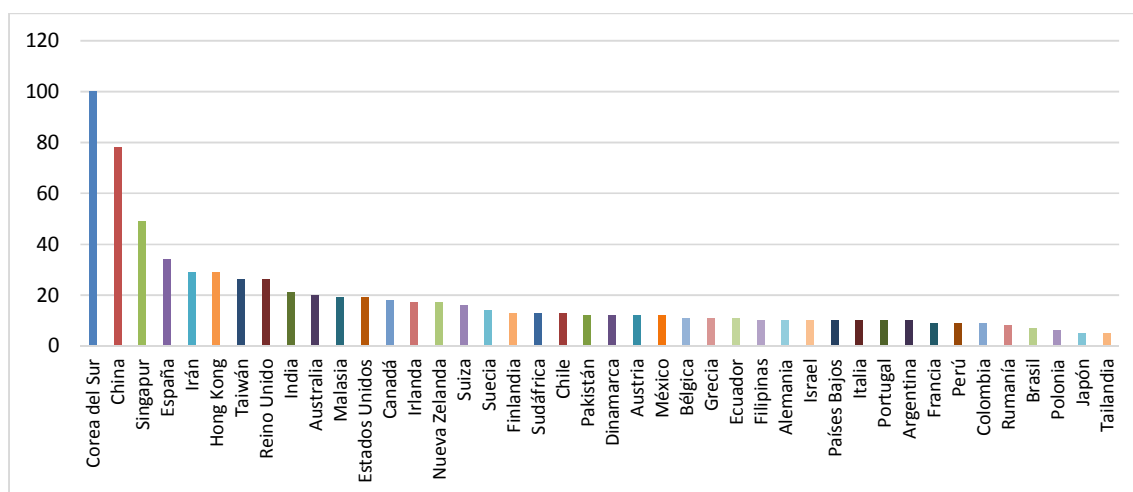


Figura 3- Interés público en el grafeno por país según las palabras graphene y grafeno
Fuente: Elaborado por los autores en base a Google Trends (2017)

3.4 La investigación y la innovación del grafeno

En la **Figura 4** podemos ver el número de publicaciones por país en el área de nanociencia y nanotecnología en el año 2015, los países que lideran son de Asia, América del Norte, Europa y Oceanía, mientras que en general los países exportadores de minerales metálicos como Perú cuenta con 3 publicaciones, no se está progresando en este campo y Chile cuenta con 39 publicaciones, en ambos casos distantes de los líderes como China que supera las 10000 publicaciones.

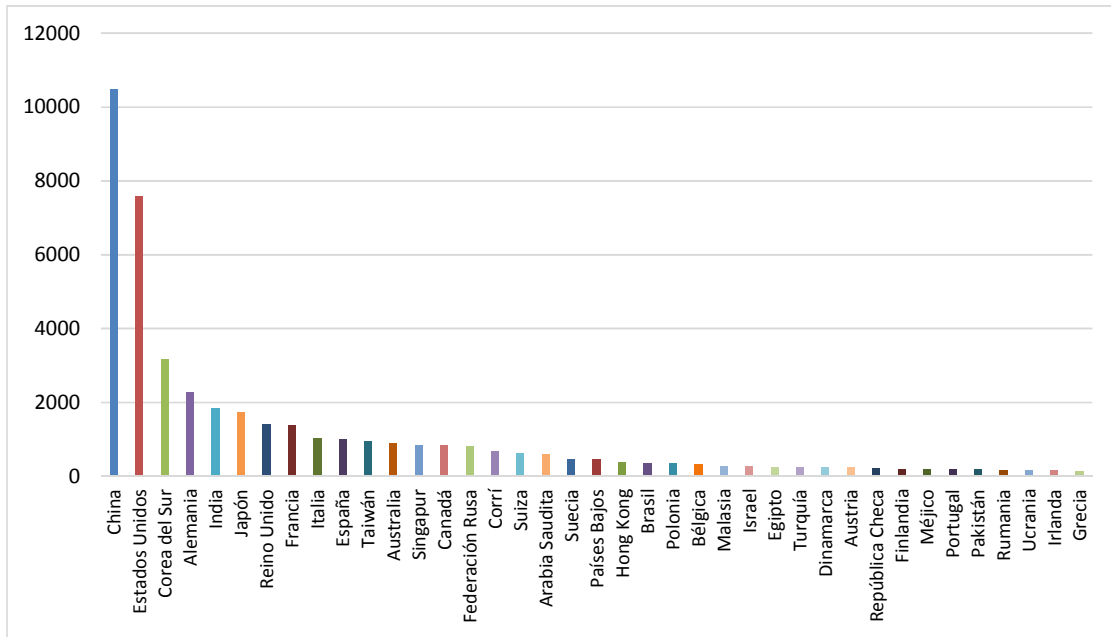


Figura 4- Publicaciones sobre nanociencia y nanotecnología en el 2015

Fuente: Elaborado por los autores en base a Scimago Journal and Country Rank (Scimago Lab, 2017)

En la **Figura 5** podemos observar el acelerado crecimiento de las patentes relacionadas al grafeno hasta el 2016, mientras que en la **Figura 6** se observa que los países que lideran con sus patentes relacionadas al grafeno son de Asia, América del Norte, Europa y Oceanía y en el caso de los países exportadores de minerales metálicos como Perú no cuenta con patentes y Chile cuenta con 2 patentes, encontrándose alejados de los líderes como China que supera las 7000 patentes.

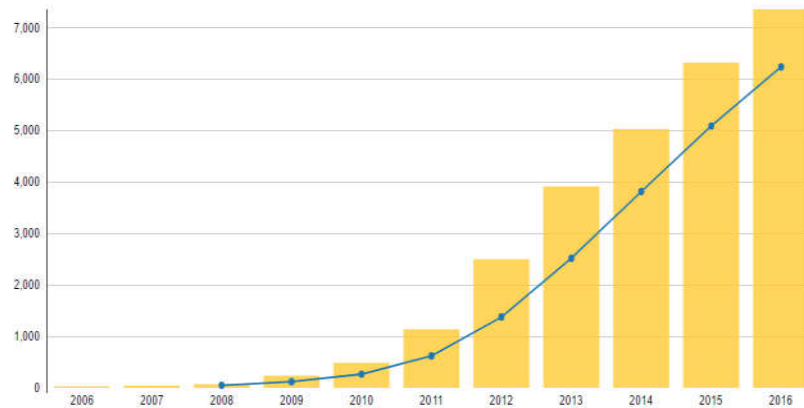


Figura 5- Patentes relacionadas al grafeno según la fecha de publicación

Fuente: Patent Inspiration (2017)

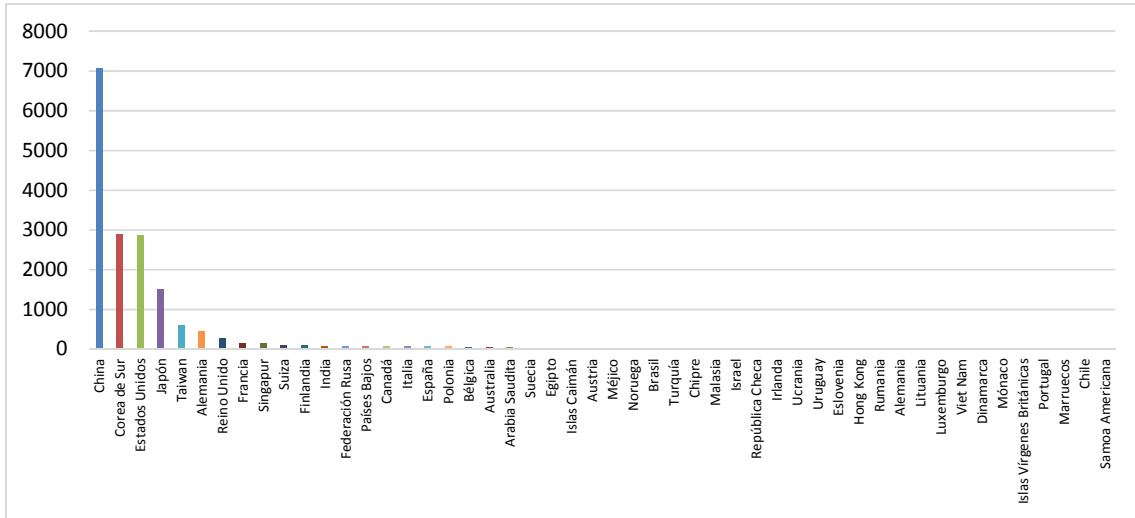


Figura 6- Número de patentes relacionadas al grafeno según país del aplicante al 2016
Fuente: Elaborado por los autores en base a Patent Inspiration (2017)

3.5 La minería en Latinoamérica

La explotación de los minerales metálicos en Latinoamérica para el 2013 estaba en el orden de los USD 116 mil millones, representando el 17% de la extracción en el mundo (Proexpansion, 2015), tras consultar el observatorio de complejidad económica (Simoes, 2017) para el caso del cobre, solo entre Chile y Perú para el año 2015 representaban el 45% de la exportación de este metal en el mundo, tal como se muestra en la **Figura 7**.

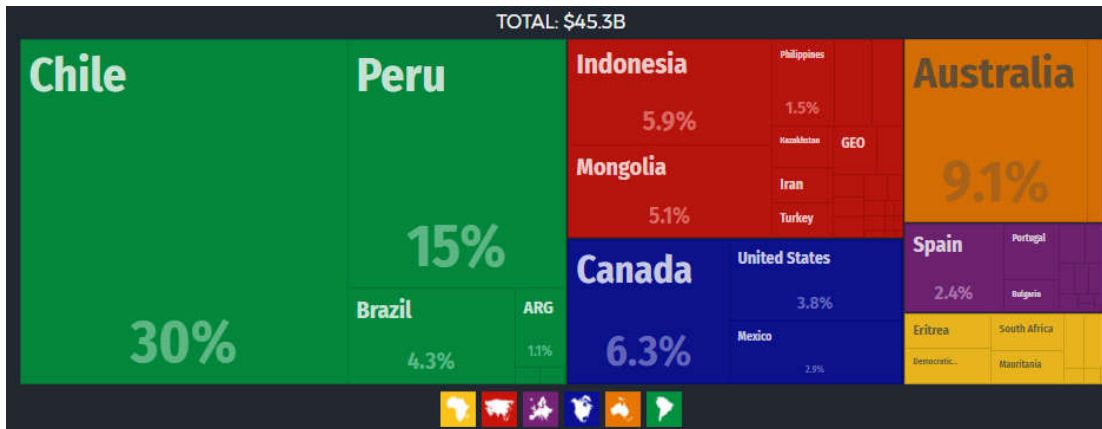


Figura 7- Exportación mundial del cobre en el 2015
Fuente: The Observatory of Economic Complexity (Simoes, 2017)

Desde el punto de vista social, la minería responsable es una de las actividades que más empleo formal genera en América Latina y desde el punto de vista económico, uno de los principales rubros de exportación. De ahí el impacto directo de los cambios que pueda sufrir la minería sobre el futuro de la Región.

3.6 La innovación en los metales

Tras una búsqueda de las patentes en Patent Inspiration (2017) relacionadas a los metales Cobre, Plomo, Zinc, Hierro, Estaño, Litio y Germanio y hacer una comparación con las patentes relacionadas al grafeno, según la fecha de publicación se ha encontrado que del 2005 al 2015 el número las patentes de los metales han tenido variaciones muy inferiores y que no se comparan a la del grafeno tal como se muestra en la **Figura 8** y *Tabla 1*.

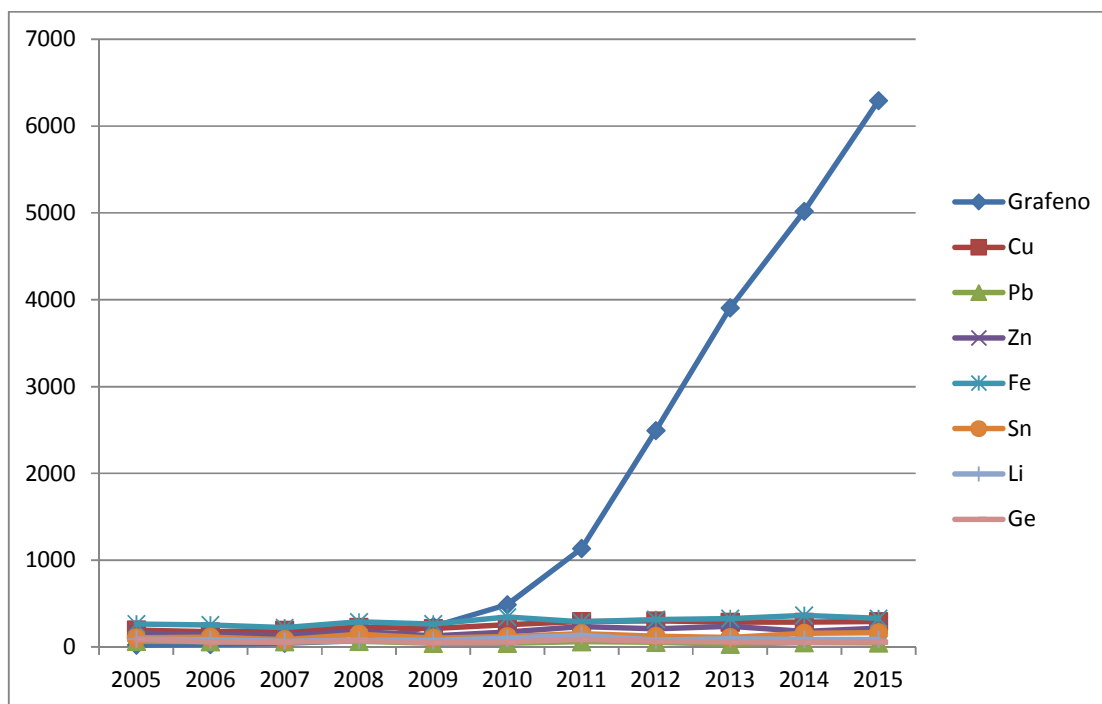


Figura 8- Patentes relacionadas a los metales y el grafeno según fecha de publicación

Fuente: Elaborado por los autores en base a Patent Inspiration (2017)

Tabla 1: Patentes relacionadas a los metales y el grafeno según fecha de publicación

Año	Grafeno	Cu	Pb	Zn	Fe	Sn	Li	Ge
2005	23	195	62	161	263	104	91	89
2006	29	174	60	141	255	112	83	56
2007	44	190	59	137	223	84	68	52
2008	73	227	63	178	290	146	81	74
2009	236	212	44	130	264	101	78	50
2010	487	256	41	172	345	118	103	58
2011	1135	293	59	232	288	153	135	86
2012	2494	300	53	208	316	122	82	63
2013	3906	285	32	238	326	109	94	55
2014	5020	284	48	179	363	158	89	54
2015	6295	293	46	217	331	162	87	55

Fuente: Elaborado por los autores en base a Patent Inspiration (2017)

3.7 Los metales en las patentes de grafeno

Al explorar por medio de una nube de las patentes relacionadas al grafeno en Patent Inspiration (2017), encontramos de mayor a menor uso a los metales: litio, cobre, aluminio, níquel, zinc, hierro, plata, calcio, estaño, oro tal como se muestra en la **Figura 9**.

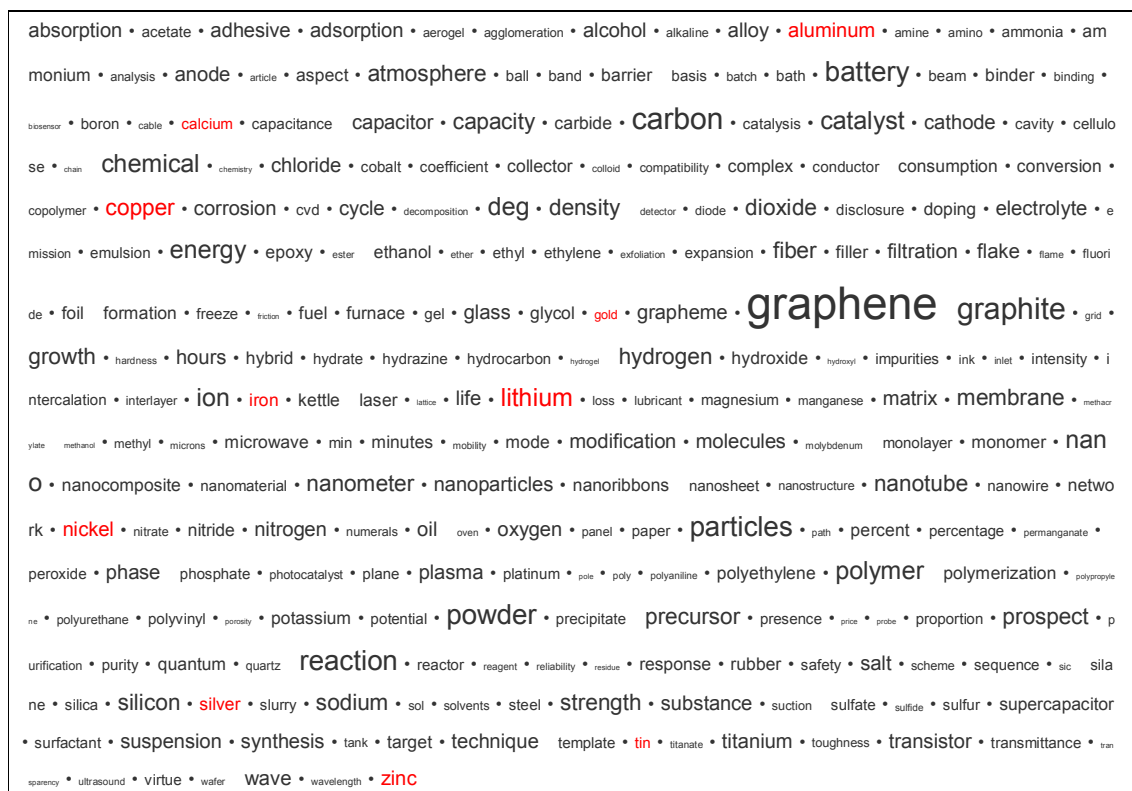


Figura 9- nube de las patentes relacionadas al grafeno

Fuente: Patent Inspiration (2017)

Al explorar la aplicación de las patentes relacionadas con el grafeno, en la herramienta Intelligo (OEI, 2017), para el caso del litio son sus propiedades para baterías y condensadores las que se encuentran y en el caso del cobre sus propiedades también para aplicaciones de baterías y condensadores, lo que señala que la tendencia de los usos principales de los metales con el grafeno serán en aplicaciones de la electrónica, tal como se muestra en la **Figura 10**.

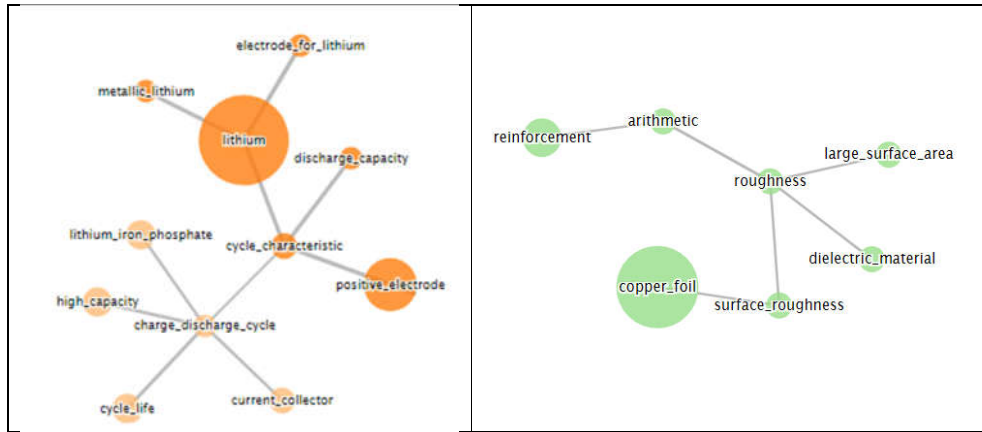


Figura 10- Aplicaciones del Litio y el Cobre en las patentes relacionadas al grafeno
 Fuente: Intelligo (OEI, 2017)

3.8 La Minería del Carbón en Latinoamérica

Al explorar la exportación mundial del coque, semi-coque de carbón, lignito, turba y carbón de retorta en el 2015 (Simoes, 2017) que se muestra en la **Figura 11**, encontramos a Colombia con una participación del 6%, con porcentajes menores al 1% a Chile, Argentina y Venezuela.

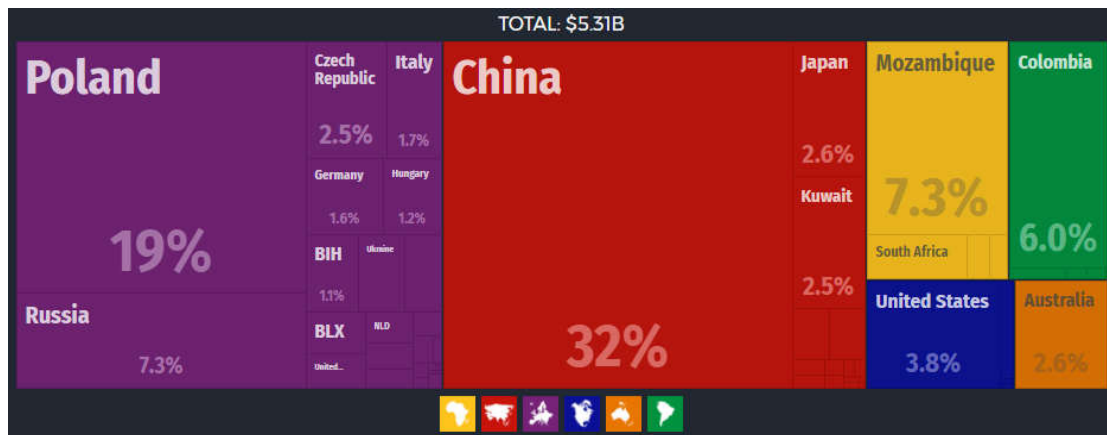


Figura 11- Exportación mundial del carbón
 Fuente: The Observatory of Economic Complexity (Simoes, 2017)

4. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Evaluando el comportamiento de las patentes, las publicaciones científicas, tras el análisis exploratorio por parte de los autores se obtuvieron los escenarios que se esquematizan en la **Figura 12**, estos escenarios Metales No Preciosos-Grafeno al 2030 se describen a continuación:

CONVIVENCIA PACÍFICA: Los metales no preciosos y el grafeno crean nuevos mercados para nuevas aplicaciones. Incluso eso puede animar a desarrollo de productos donde ambos materiales coexisten aprovechando sus cualidades físico-químicas.

SEGUNDO DEBUT: Las nuevas aplicaciones de los metales comunes aunados a una oferta limitada de grafeno permiten que los metales aún mantengan precios adecuados dada la existencia de una demanda creciente de materias primas

SUPERVIVENCIA: La demanda de los metales comunes va decayendo porque van siendo reemplazados lentamente por el grafeno y otros materiales nanoestructurados, debido a que la tecnología no ha podido abaratar sus costos de producción. Aun así, los precios de los metales tendrían una tendencia sostenible a la baja.

SUBSTITUCIÓN: El grafeno comienza a ingresar a todos los mercados (electrónica, construcción, manufactura, automotriz, etc.) reemplazando a todos los metales comunes y a otras materias primas naturales (madera, vidrio, fibras, etc.).

Los ejes de incertidumbre de aquí al 2030 serían: Costo del Grafeno (tecnología capaz de generar grandes volúmenes de grafeno en diferentes formatos) y Nuevos Usos de los Metales (desarrollo de nuevas aplicaciones para sus propiedades naturales).

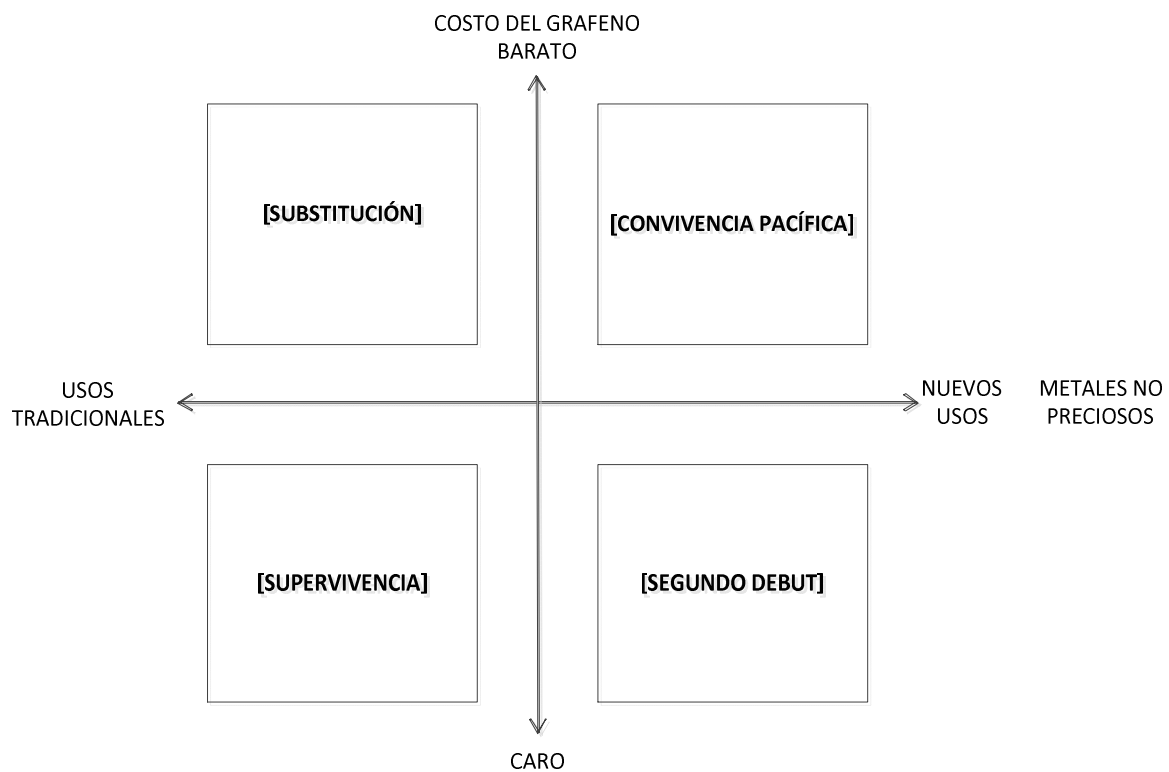


Figura 12- Los Escenarios del grafeno y los metales al 2030

Fuente: Elaborado por los autores

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por la diversidad de las aplicaciones que el grafeno tiene en diferentes campos como la electrónica, la medicina, la ingeniería de materiales, etc. a medida que las patentes se den en productos introducidos al mercado, irán sustituyendo diferentes materiales entre ellos a los metales y disminuyendo la demanda de extracción de los minerales metálicos y otros.

Del análisis desarrollado podemos concluir que todos los sectores públicos y privados de Latinoamérica deben apostar a las tecnologías relacionadas al grafeno para poder participar de estos nuevos mercados dependientes de un grupo de tecnologías emergentes.

Siendo el carbón un insumo principal para el grafeno, su explotación debería ser promovida en Latinoamérica, no como combustible como lo es ahora, sino como material estratégico. De la región, Colombia tiene un 6% de la exportación mundial, y con porcentajes menores al 1% se encuentran Chile, Argentina y Venezuela. El futuro de la minería y la creación de una industria del futuro en Latinoamérica podría ser la del carbón y del grafeno, si lo que se busca son oportunidades futuras.

Las metodologías de prospectiva y vigilancia tecnológicas son válidas para analizar los escenarios del grafeno y la minería en Latinoamérica en el largo plazo. Se recomienda realizar una serie de estudios más amplios y profundos sobre las posibilidades tecnológicas del grafeno y los mercados de la minería de Latinoamérica que serían afectados por la posible sustitución de los metales comunes por los nuevos materiales nanoestructurados.

6. REFERENCIAS

- Castro, E. (2010). El estudio de casos como metodología de investigación y su importancia en la dirección y administración de empresas. *Revista Nacional de Administración*, Julio-Diciembre, 31-54.
- Ferrari, A. C., Bonaccorso, F., Fal'ko, V., Novoselov, K. S., Roche, S., Bøggild, P., y otros. (2015). Science and technology roadmap for graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems. *Nanoscale*, 4598-4810.
- Gavigan, J., Ducatel, K., Scapolo, F., Zappacosta, M., Mark Boden, T. D., Costa, O. D., y otros. (2002). *The role of foresight in the selection of research policy priorities, Conference Proceedings*. Seville: European Commission.
- Godet, M., Monti, R., Meunier, F., & Roubelat, F. (2000). *La caja de herramientas de la prospectiva estratégica*. Zarautz: Instituto Europeo de Prospectiva y Estrategia.
- Google Trends. (10 de abril de 2017). *Google Trends*. Obtenido de <https://trends.google.com/trends/explore?q=graphene>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hil.
- List, D. (2007). *From scenario planning to scenario network mappin*. Adelaide: NZSSES Conference.
- Medina, J., & Ortigón, E. (2006). *Manual de prospectiva y decisión estratégica: bases teóricas e instrumentos para América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: ILPES.
- Méndez, G., Rosu, H., & Torres, L. (2012). Grafeno: el alótropo más prometedor del carbono. *Acta Universitaria, Universidad de Guanajuato*, 20-23.
- Merriam, S. (1998). *Qualitative Research and Case Study Applications in Education: Revised and Expanded from Case Study Research in Education*. San Francisco: Jhon Wiley & Sons, Inc.
- Mojica, F. (2008). *Forecasting y Prospectiva dos alternativas complementarias para adelantarnos al futuro*. Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Montoya, M., Aguirre, Y., Arango, I., & Zuluaga, A. (2017). La planeación por escenarios: Revisión de conceptos y propuestas metodológicas. *Ingenierías USBMed*, 63-70.
- OEI. (2017). *Intelligo*. Obtenido de Observatorio Iberoamericano de la Ciencia, la Tecnología y la Sociedad: <http://patentes.explora-intelligo.info>

- Ortega, F. (2013). *Manual de Corporate Foresight para Organizaciones Latinoamericanas*. Lima: Universidad de Lima.
- Patent Inspiration. (2017). *Patent Inspiration*. Obtenido de <http://www.patentinspiration.com>
- Proexpansion. (2015). *Minería: Latinoamérica es el gran proveedor de minerales*. Obtenido de <http://proexpansion.com/es/articles/1148-mineria-latinoamerica-es-el-gran-proveedor-de-minerales>
- Scimago Lab. (2017). *Scimago Journal & Country Rank*. Obtenido de <http://www.scimagojr.com>
- Simoës, A. (2017). *The Observatory of Economic Complexity*. Obtenido de <http://atlas.media.mit.edu/en/>
- Singh, V., Joung, D., Zhai, L., Das, S., Khondaker, S. I., & Seal, S. (2011). Graphene based materials: Past, present and future. *Progress in Materials Science*, 1178–1271.
- Watanabe, E., Conwill, A., Tsuya, D., & Koide, Y. (2012). Low contact resistance metals for graphene based devices. *Diamond and Related Materials*, 171–174.
- Yin, R. (2009). *Case Study Research design and methods* (Fourth ed.). California: SAGE.