

Modelo: Desperdicio de Grafito al Afilar un Lápiz

Integrantes:

- Luis Camilo Gómez Rodríguez.
- Jose Simón Ramos Sandoval.
- Tomas David Rodríguez Agudelo.

Contexto del problema

El lápiz, una herramienta aparentemente sencilla pero profundamente esencial, encapsula en su forma básica la alquimia de la escritura y el dibujo. ¿Cuántas ideas y resultados han podido ser plasmados sobre el papel gracias al lápiz? En su interior se encuentra una mina de grafito mezclado con arcilla, su dureza y tonalidad varía en una mezcla de proporciones precisas entre estos materiales.

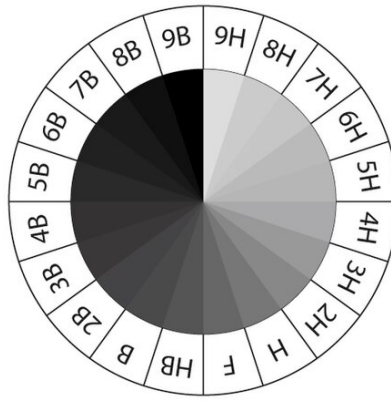
Scripts and styles not rendered in *Safe preview*



Es así como el proceso de dar vida a un lápiz combina ciencia y arte: polvo de grafito y arcilla se mezclan con agua y se moldean en largas minas que se cuecen en hornos especiales. Una vez endurecidas, estas minas se sumergen en aceite o cera, lo que permite que cada trazo fluya con suavidad. La madera, cuidadosamente ranurada, alberga estas minas en su interior (esto no siempre fue así), y una vez ensambladas, se cortan, barnizan o pintan para darles su acabado final.

Estamos acostumbrados a usar el sistema de letras y números que nos indica el carácter de un lápiz: "H" representa la dureza, "B" la suavidad y negrura del trazo, y los números definen el grado.

Scripts and styles not rendered in *Safe preview*



En contraste con los lápices de grafito, la mina de los lápices de colores contiene pigmentos de color combinados con aglutinantes (sustancias que albergan los pigmentos) como cera o aceite lo cual permite una amplia gama de colores y tonalidades.

Scripts and styles not rendered in *Safe preview*



Así como el diamante y el grafeno, el grafito es una forma alotrópica del carbono (tiene una estructura particular de dicho elemento), compuesta por capas de átomos de carbono que pueden deslizarse fácilmente entre sí, lo que lo convierte en un mineral muy blando (de allí la necesidad de recubrir las minas con materiales más duros como la madera). Es un mineral tan versátil que puede estar tanto en la punta de los lápices como en reactores nucleares.

Scripts and styles not rendered in *Safe preview*



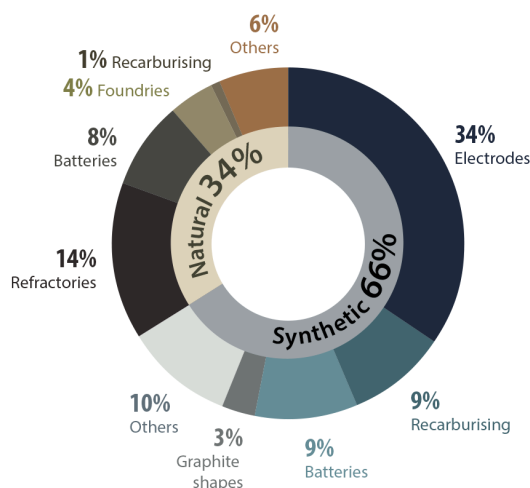
El grafito se puede encontrar de manera natural variando en el tamaño de sus escamas —en la industria así se le llama a las capas de átomos de carbón del mineral—. También se puede obtener de manera artificial, sin embargo producir este tipo de grafito puede ser hasta diez veces más costoso que el grafito natural [6].

En particular, para la elaboración de minas de lápiz se utiliza el grafito natural, específicamente un tipo de grafito llamado amorfo cuyo tamaño de escamas es muy pequeño.

Los primeros usos del grafito datan de la Edad Neolítica, cuando se utilizaba como pigmento para pintura, pero desde su redescubrimiento en Inglaterra alrededor de 1565, sus aplicaciones han crecido considerablemente. Entre las numerosas aplicaciones del grafito encontramos la fabricación de electrodos, baterías y lubricantes (debido a la presencia de electrones entre las capas de átomos de carbono, el grafito es un buen conductor de electricidad).

A continuación podemos ver los usos globales que se le dieron al grafito en el año 2021 [7]:

Scripts and styles not rendered in *Safe preview*



De hecho, gracias a su papel en el almacenamiento de energía y a la reciente transición hacia fuentes más limpias, el Banco Mundial prevé que la demanda de grafito aumente en un 500% para el año 2050 [2]. Similar al litio, el grafito se ha convertido en un componente clave en la fabricación de baterías para vehículos eléctricos, ocupando un lugar central en el desarrollo de tecnologías sostenibles.

La producción de grafito natural implica costos asociados a la extracción, procesamiento y transporte. En el año 2022 se observó un aumento en la producción de grafito natural del 46% con respecto al año anterior [5]:

Code not executed in Safe preview

```

1 begin
2     using XLSX, Plots, PlotlyJS, Plots.PlotMeasures
3     years = 2017:2023
4     production_estimates = [850, 1150, 1100, 1000, 1150, 1680, 1600]
5
6     Plots.bar(years, production_estimates,
7         xlabel="Año", ylabel="Producción (en miles de toneladas métricas)",
8         title="Producción global de grafito por año (2017-2023)",
9         legend=false, left_margin = [20mm 10mm], right_margin = [0mm 15mm],
10        bottom_margin = 10px, top_margin=35px, size=(400,200),
11        titlefontsize=9, guidefontsize=6, tickfontsize=6)
12 end

```

A nivel mundial, China es el principal productor, aportando aproximadamente el 77% de la producción total en 2023, con un volumen de mercado total estimado de 1,6 millones de toneladas métricas [3]:

Code not executed in Safe preview

```

1 begin
2     file_path = "data/Global Graphite Production 2023.xlsx"
3     data = XLSX.readtable(file_path, "Data")
4
5     x_data = data.data[1][1:13]
6     y_data = data.data[2][1:13]
7
8     plotly()
9
10    Plots.bar(x_data, y_data, permute=(x,y), xflip=true,
11        xlabel="País", ylabel="Producción (en 1,000 toneladas métricas)",
12        title="Producción global de grafito por país - 2023",
13        legend=false, left_margin = [20mm 10mm], right_margin = [0mm 15mm],
14        bottom_margin = 10px, top_margin=35px, size=(500,300),
15        titlefontsize=10, guidefontsize=8, tickfontsize=6)
16 end

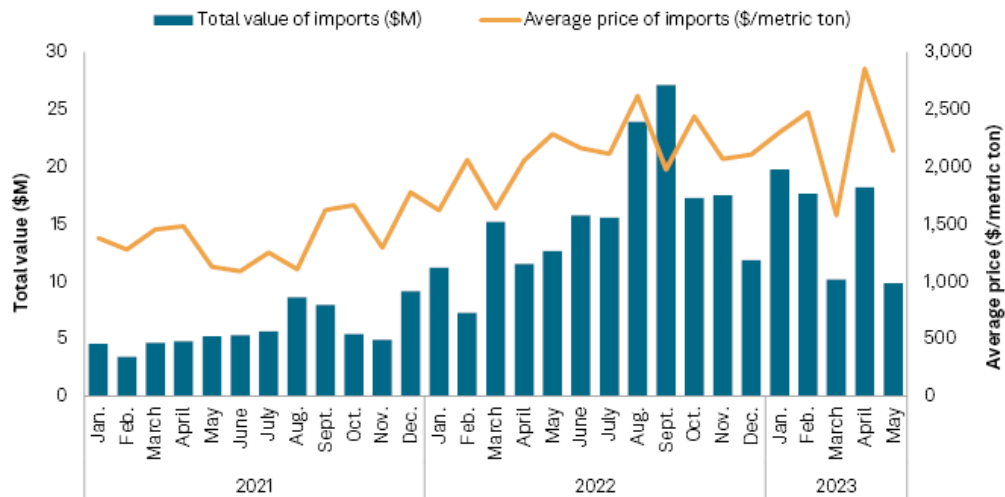
```

Los precios del grafito natural dependen de factores como el contenido de grafito, el tamaño de las escamas y el nivel de impurezas. Al ser el mayor productor mundial, China tiene una influencia considerable en los precios internacionales, los cuales suelen ser establecidos por grandes compradores de alto volumen y tienden a ser conservadores [7].

Para darnos una idea, en 2022 el costo promedio por tonelada de grafito natural importado a Estados Unidos fue de 2135 dólares [10], esto incluyendo todos los tipos de grafito, que por tonelada varían desde los 500 dólares para el tipo con escamas más finas, hasta los 2300 dólares para el tipo con escamas más grandes [8].

Scripts and styles not rendered in *Safe preview*

Monthly total value, average price of US natural graphite imports since 2021



Data compiled Aug. 4, 2023.

Monthly average price was derived by dividing the monthly total value of imports by the monthly weight of imports.

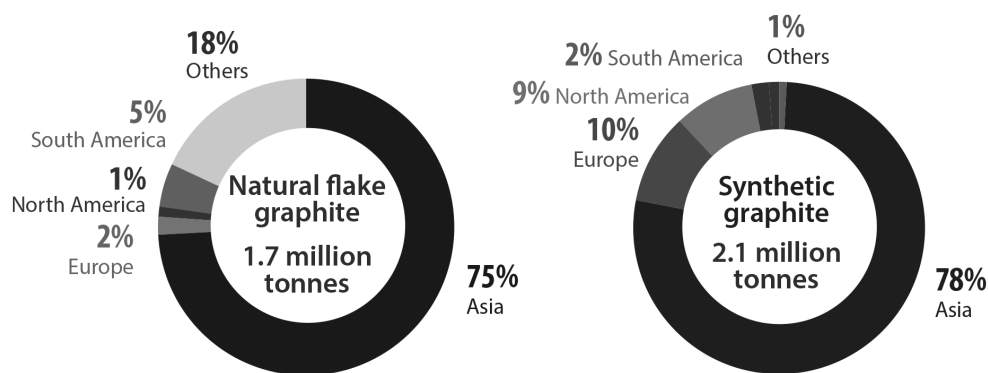
Only includes countries that report monthly data to the US Census Bureau.

Source: S&P Global Market Intelligence.

© 2023 S&P Global.

Con estos datos, podemos estimar que al menos en el año 2022, la industria del grafito natural movió al rededor de 3000 millones de dólares. En este mismo año, aproximadamente el 44% del consumo total correspondió al grafito natural. Suramérica consume solo el 5% del grafito natural global y cerca del 2% del grafito sintético [7], Colombia importó 887 mil dólares en grafito natural [11].

Scripts and styles not rendered in *Safe preview*



Resumiendo lo anterior, el grafito es un recurso clave tanto en aplicaciones cotidianas, como en la escritura con lápices, como en tecnologías avanzadas y sostenibles, incluyendo las baterías de vehículos eléctricos y otros sistemas de almacenamiento de energía. Dado su rol en el contexto de la transición energética, la demanda de grafito sigue en aumento, proyectándose un crecimiento significativo en los próximos años. Esto hace que cada gramo de grafito cobre relevancia, impulsando la necesidad de minimizar su desperdicio para asegurar un uso más eficiente y sostenible.

En este sentido, **minimizar las pérdidas de grafito en todos los niveles, incluso en algo tan cotidiano como el afilado de un lápiz, es un paso hacia una administración más sostenible de los recursos volviéndolo un problema relevante.**

Se estima que el mercado de lápices de grafito mueve aproximadamente 8,5 millones de dólares anuales en nuestro país, con una venta estimada de 120 millones de unidades [12]. Empresas como Faber-Castell reportan ventas de más de 10 millones de lápices de grafito al año en el país. En el mundo, cerca de 14 mil millones de unidades son fabricadas anualmente [13].

En este ejercicio, abordaremos el desafío de cuantificar el desperdicio de grafito en el proceso de afilado de lápices a través de un modelo que permita estimar estas pérdidas.

Referencias

1. Colaboradores de Wikipedia. (2024, October 25). Lápiz. Wikipedia, La Enciclopedia Libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1piz>
2. Carbajal, B. (2021, November 2). Proyecta el BM que la demanda de grafito se dispare 500% hacia 2050. La Jornada. <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/11/02/economia/proyecta-el-bm-que-la-demanda-de-grafito-se-dispare-500-hacia-2050/>
3. Global graphite production by country 2023 | Statista. (2024, May 22). Statista. <https://www.statista.com/statistics/267366/world-graphite-production/>
4. U.S. Geological Survey. (2024). *Mineral Commodity Summaries 2024: Graphite*. <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-graphite.pdf>
5. Statista. (2024, May 3). Global graphite mine production 2010-2023. <https://www.statista.com/statistics/1005851/global-graphite-production/>
6. Graphite and AMC. (2024, October 30). AMC Consultants. <https://www.amcconsultants.com/graphite-and-amc>
7. Canada, N. R. (2024, March 1). Graphite facts. <https://natural-resources.canada.ca/our-natural-resources/minerals-mining/mining-data-statistics-and-analysis/minerals-metals-facts/graphite-facts/24027>
8. Northern_MBCadmin. (2024, May 9). Graphite Pricing - Northern Graphite. Northern Graphite. <https://www.northerngraphite.com/graphite-pricing/>
9. Roca, J. A. (2017, October 31). Los grandes productores de grafito se preparan para la avalancha de la demanda de almacenamiento. El Periódico De La Energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/china-planea-varias-gigafactorias-de-grafito-para-triplicar-la-produccion-y-cubrir-la-demanda-de-almacenamiento/>
10. North American graphite market to disconnect from Chinese prices. (n.d.). S&P Global Market Intelligence. <https://www.spglobal.com/marketintelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/north-american-graphite-market-to-disconnect-from-chinese-prices-76963809>
11. Grafito natural en Colombia | Observatorio de Complejidad Económica. (n.d.). Observatorio De Complejidad Económica. <https://oec.world/es/profile/bilateral-product/graphite/reporter/col>

12. Portafolio, R. (2019, July 22). 'Vendemos más de 10 millones de lápices al año en Colombia.' Portafolio.co. <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/vendemos-mas-de-10-millones-de-lapices-al-ano-en-colombia-531782>
13. The Point of it All - History of the Pencil | Reader's Digest Australia. (n.d.). <https://web.archive.org/web/20090617220924/http://www.readersdigest.com.au/content/printContentId=109024>