

# Uso de herramientas estadísticas en nanotecnología del carbono

Juan Ríos Ponce<sup>1</sup>, Alejandro Aburto Bedolla<sup>2</sup>,  
Fabián Ortega Vargas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Morelia (División de Estudios de Posgrado e Investigación, Departamento de Ingeniería Industrial).

<sup>2</sup>Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Morelia (División de Estudios de Posgrado e Investigación, Departamento de Ciencias Básicas).  
Morelia, Mich., México.

Contacto: jrjosp@itmorelia.edu.mx

**Resumen:** Desde su descubrimiento la nanotecnología ha venido revolucionando el mundo de la ciencia. Sus aportaciones a las diferentes áreas del conocimiento han permitido que sea considerada como herramienta fundamental en la búsqueda de nuevas soluciones a diversas problemáticas en: medicina, electrónica, mecánica, industria aeroespacial, industria automotriz e inclusive en el deporte. Para los científicos el reto es entender el comportamiento de los diversos materiales de tamaños tan pequeños como una millonésima parte de un milímetro (escala nanométrica); por ende, la necesidad de emplear diferentes técnicas que permitan estandarizar métodos y procedimientos en la obtención de nanomateriales. Una forma de lograr cuantificar y establecer estándares para los procedimientos es el uso de herramientas estadísticas. A continuación, se muestran los resultados del uso de la estadística en la obtención de nanomateriales de carbono; lo que permitió mostrar el uso de una herramienta simple en un campo complejo y al mismo tiempo evitar riesgos y minimizar costos.

**Palabras Clave:** Nanotecnología, materiales, estadística

## Introducción

Todos hemos usado la estadística en la vida diaria incluso sin darnos cuenta, cuando tomamos decisiones triviales como abordar el transporte público fuera de horas pico, o no acudir al supermercado los días de quincena; estas son decisiones que resultan del análisis realizado con base en la experiencia y en la información recabada en situaciones parecidas.

La estadística es la recopilación, organización y análisis de datos sobre alguna característica de ciertos individuos pertenecientes a una muestra con el propósito de conocer promedios, tendencias y posibilidades. La estadística es una herramienta útil que se aplica en distintos campos laborales, en las finanzas personales, en los deportes, entre otros (Fernández, 2002).

Un área en la que se puede aplicar esta herramienta es en la nanotecnología; la nanotecnología engloba a una serie de tecnologías que se encargan del estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a escala manométrica (tan pequeña como un átomo o una

molécula). Un nanómetro (nm) representa una unidad de longitud del orden de una mil-millonésima parte de un metro ( $1 \times 10^{-9}$  m). La figura 1 muestra varios ejemplos que ilustran el tamaño del que se habla cuando nos referimos a la escala manométrica. (Díaz del Castillo, 2012).

Se conoce a Richard Feynman como el creador del concepto de la

nanotecnología (premio nobel de física, 1959), fue él quien propuso la elaboración de diversos productos a partir del control y manipulación de átomos y moléculas; en su investigación analizó como una computadora podría trabajar con átomos individuales minimizando el consumo de energía y alcanzado altas velocidades de rendimiento (Feynman, 1960).

El campo de la nanotecnología del carbono es uno de los que más ha crecido en los últimos años, se han desarrollado nuevas formas como los fullerenos, nanotubos de carbono o el grafeno; materiales a escala nanométrica que han tenido mucho auge desde su descubrimiento (Gutiérrez-García, 2016). Debido a que el carbono presenta propiedades inusuales a nanoescala, en décadas recientes hemos podido ver un enorme crecimiento de patentes, artículos, y aplicaciones relacionadas como se observa en la figura 2 (De Volder, 2013).

## El uso de herramientas estadísticas

Sin embargo, a pesar del gran avance en el desarrollo de materiales de carbono y las diferentes técnicas para su obtención, el desafío para la gran mayoría de los investigadores es tener un control sobre las condiciones de experimentación con las que se elaboran los nanomateriales. Estas condiciones

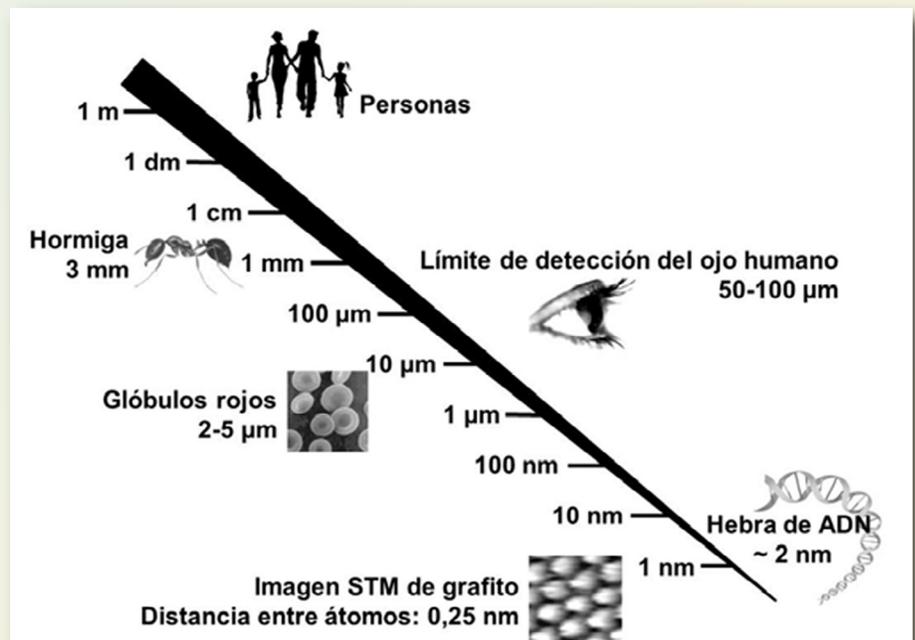


Figura 1. Analogía del tamaño nanométrico (Mendoza, 2018)

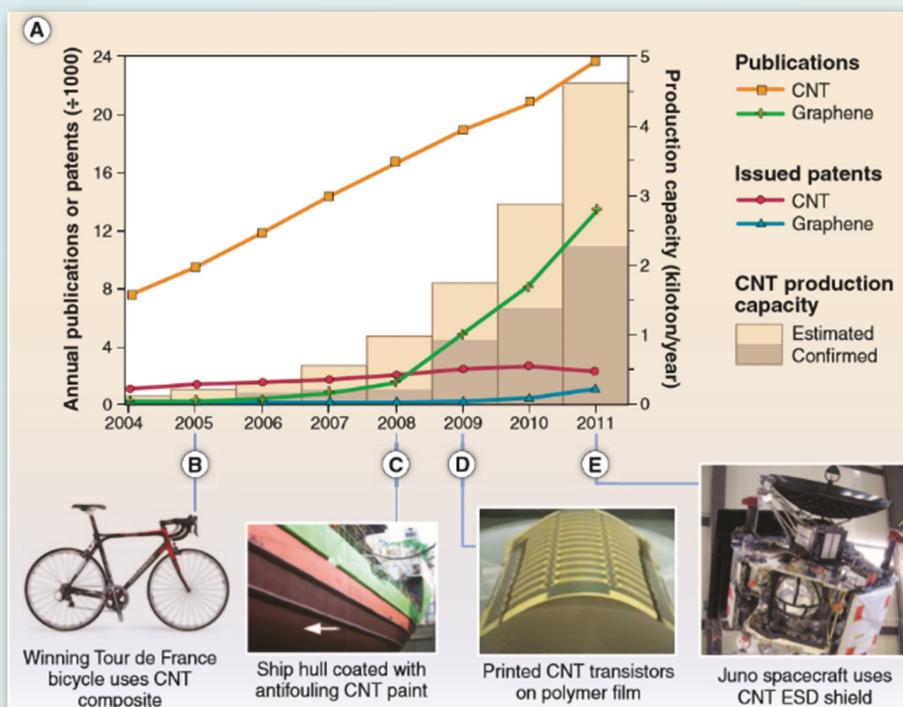


Figura 2. Crecimiento de artículos, patentes y productos a base de nanomateriales de carbono en años recientes (De Volder, 2013)

experimentales están sujetas a cambios, aun cuando las pruebas sean en ambientes controlados, existen factores externos o no controlables que causan variaciones en los resultados. Al recolectar los datos del experimento y tener variaciones en ellos, es conveniente tener una herramienta que permita ordenar, presentar y analizar la información, es aquí donde los investigadores requieren de las herramientas estadísticas para la toma de decisiones y una alternativa eficaz en el rubro de la investigación científica es el uso de diseño de experimentos.

Los diseños de experimentos son herramientas que permiten manipular un proceso con la finalidad de aportar información adecuada que admita hacer mejoras al proceso mediante la modificación de sus variables (Gutiérrez & Vara, 2004).

Los diseños de experimentos más comunes son: los diseños factoriales, factoriales fraccionados y el diseño de experimentos de Taguchi (Gutiérrez &

Vara, 2004). Un diseño de experimentos de Taguchi se basa en emplear una metodología en donde el rendimiento del producto genere menores variaciones sin afectar los resultados esperados (Liao, 2004). En el diseño de experimentos se establece la relación señal-ruido (S/N) con la finalidad de encapsular el ruido (variables) interno y externo que pueda afectar al proceso (Hedayat, 2010).

Para aplicar un diseño de experimentos de Taguchi como una herramienta estadística en un caso práctico, se realizó una serie de experimentos para sintetizar nanomateriales de carbono. Para lo cual fue necesario usar una materia prima a base carbono y un soporte metálico para general el crecimiento de los nanomateriales (Granados-Martínez, 2015). A continuación, se presenta la metodología y los resultados obtenidos.

Para los experimentos se utilizó hexano como fuente de carbono, para lograr el crecimiento de los

nanomateriales de carbono se empleó una barra de acero inoxidable como catalizador además de un tubo de cuarzo como reactor. La tabla 1 muestra las condiciones experimentales utilizadas para llevar a cabo el proceso.

Es importante considerar el método utilizado para los experimentos, el cual se conoce como deposición química de vapor, en el cual existen tres variables que influyen de forma significativa en el proceso de obtención de nanomateriales de carbono y son: la temperatura, el flujo con el cual se arrastra la fuente de carbono al reactor y el tiempo. Considerando las variables antes mencionadas el objetivo de utilizar diseño de experimentos de Taguchi es obtener un mayor porcentaje de carbono en las muestras, garantizando un mayor control en los niveles de pureza de los nanomateriales obtenidos

Considerando la tabla anterior fue posible establecer un diseño de experimentos de Taguchi a partir de los cuatro experimentos. Una vez que se obtuvo la muestra de cada experimento, éstas fueron analizadas con el uso de un Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) para confirmar la presencia de materiales a nanoescala.

Una vez analizadas las muestras mediante MEB, es posible observar estructuras tubulares y otras no definidas en la figura 3(a), correspondiente al experimento 1. En la figura 3(b) se observan estructuras tubulares con diámetros de 126 y 129 nm; y en las figuras 3 (c y d) es posible observar barras, algunas formas no definidas, además de formas tubulares; por lo cual podemos decir que se tiene una mezcla de nanomateriales de distintas formas.

Los resultados del contenido por elementos de cada una de las muestras analizadas se pueden observar en la tabla 2, donde es posible identificar al carbono con mayor porcentaje respecto a otros elementos que lograron detectarse en los nanomateriales.

Los resultados de esta tabla fueron analizados mediante un software con herramientas estadísticas (Minitab) con la finalidad de establecer las condiciones óptimas en las que se obtienen nanomateriales con mayor porcentaje de carbono que es la variable a controlar. Después del análisis estadístico es posible determinar que los experimentos

Tabla 1. Condiciones de experimentación para la obtención de nanomateriales de carbono

Experimento	Variables para considerar		
	Temperatura (°C)	Flujo (ml/minuto)	Tiempo (minutos)
1	700	70	30
2	700	80	40
3	750	70	40
4	750	80	30

Tabla 2. Porcentaje de elementos en cada experimento

Elemento/Experimento	1	2	3	4
Carbono	95.92	94.69	94.85	96.48
Oxígeno	3.21	3.93	4.70	3.31
Hierro	0.76	1.24	0.45	0.21
Otros	0.11	0.14	0.00	0.00
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

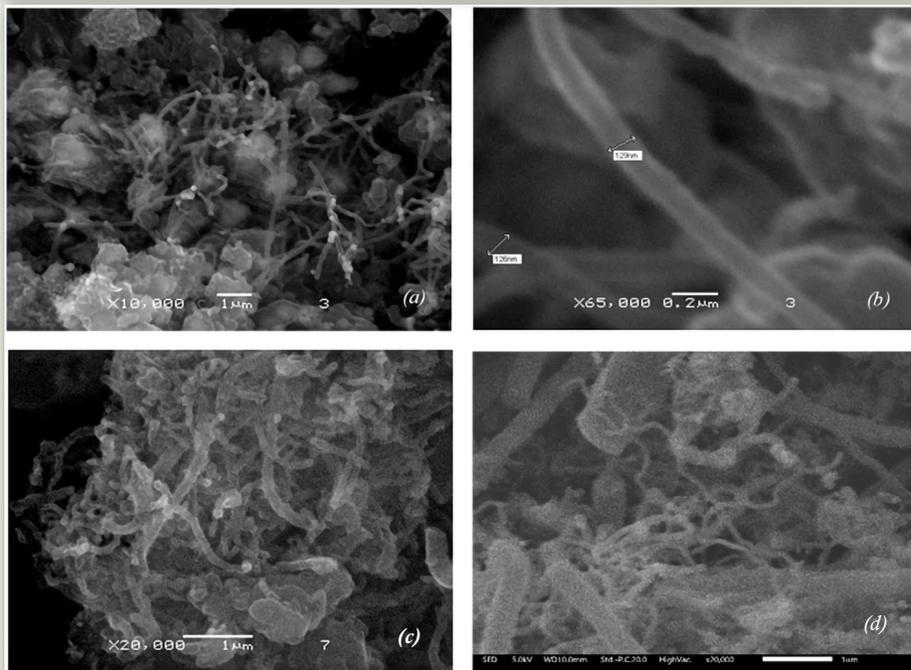


Figura 3. Imágenes obtenidas del Microscopio Electrónico de Barrido: (a) experimento 1, (b) experimento 2, (c) experimento 3 y (d) experimento 4.

se deben realizar usando una temperatura de 750 °C, con un flujo de 80 ml/minuto durante un tiempo de 30 minutos (figura 4a) lo que garantiza un alto porcentaje de carbono en las muestras (figura 4b).

**Conclusiones**

• Los nanomateriales de carbono tienen un gran potencial de

aplicabilidad en campos como: la medicina, electrónica, industria aeroespacial, deporte, entre otros.

• Mediante el uso herramientas estadísticas como el diseño de experimentos de Taguchi fue posible garantizar un mayor contenido de carbono en las muestras, contribuyendo a la seguridad del analista, a un mayor

control del proceso y minimizando de costos.

• Las herramientas estadísticas tienen un gran campo de aplicación que va desde la toma de decisiones cotidianas hasta su uso en diferentes áreas de la ciencia.

**Bibliografía**

De Volder, M. F., Tawfik, S. H., Baughman, R. H., & Hart, A. J. (2013). Carbon nanotubes: present and future commercial applications. *science*, 339(6119), 535-539.

Díaz del Castillo, F. (2012). Introducción a los nanomateriales. *FES Cuautitlán, Departamento de Ingeniería, Lecturas de Ingeniería*, 20, 4-14.

Fernández, S. F., Sánchez, J. M. C., Córdoba, A., & Largo, A. C. (2002). *Estadística descriptiva*. Esic Editorial.

Feynman, R. (1960). *Nanotechnology*. Caltech Eng. Sci, 22-36.

Granados-Martínez, F. G., Contreras-Navarrete, J. J., García-Ruiz, D. L., Gutiérrez-García, C. J., Durán-Navarro, A., Gama-Ortega, E. E., & Mondragón-Sánchez, M. L. (2015). MWCNTs synthesis from butanol, diethyl ether, ethyl acetate and hexane by chemical vapor deposition with a stainless-steel core as catalyst. *Superficies y vacío*, 28(4), 108-110.

Gutiérrez-García, C. J. (2016). Carbono, un elemento versátil. *Milenaria, Ciencia y Arte*, UMSNH. 8: 26-28

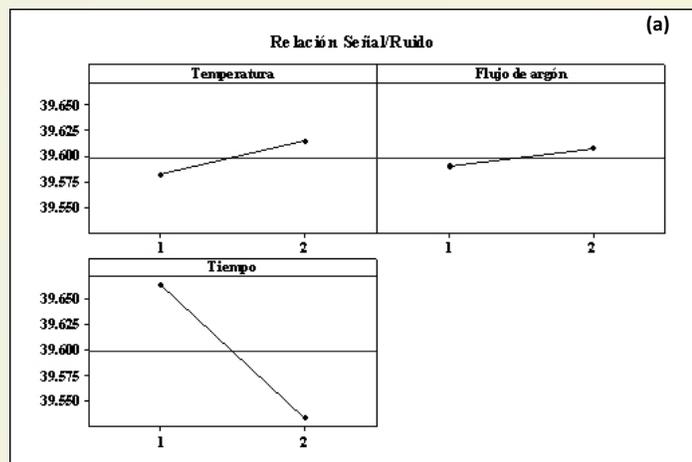
Gutiérrez Pulido, H., & Vara Salazar, R. D. L. (2004). *Análisis y diseño de experimentos*. México, DF, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. de C.V

Mendoza, S. M. (2018). Nanociencia y nanotecnología en carreras de ingeniería. *Revista Educación En Ingeniería*, 13(25), 117-122.

Hedayat, A. S., Sloane, N. J. A., & Stufken, J. (2012). *Orthogonal arrays: theory and applications*. Springer Science & Business Media.

Liao, H. C. (2004). A data envelopment analysis method for optimizing multi-response problem with censored data in the Taguchi method. *Computers & Industrial Engineering*, 46(4), 817-835.

Smalley, R. E. (2003). *Carbon nanotubes: synthesis, structure, properties, and applications* (Vol. 80). Springer Science & Business Media.



Elemento/Experimento	Validación
Carbono	97.36
Oxígeno	2.53
Hierro	0.10
Otros	0.01
<b>Total</b>	<b>100%</b>

Figura 3. (a) Validación de las condiciones experimentales óptimas que garantizan un mayor porcentaje de carbono, (b) contenido elemental de las muestras.