

NANOTUBOS DE CARBONO – LA ERA DE LA NANOTECNOLOGÍA

Marisela Maubert F*, Laura Soto S., Ana Ma. León C. y Jorge Flores M.
Área de Química de Materiales, Universidad Autónoma Metropolitana
Av. San Pablo 180, Reynosa Tamaulipas, Azcapotzalco. C.P. 022000
***amf@correo.azc.uam.mx**

RESUMEN

La ciencia y la tecnología se han desarrollado en el mundo a grandes pasos en el último siglo y en particular en las últimas décadas, lo cual ha tenido importantes repercusiones en la sociedad y la cultura de los diferentes países. Probablemente, la importancia de los materiales en nuestra cultura es mayor de lo que habitualmente se cree, prácticamente cada segmento de nuestra vida cotidiana está influido, en mayor o menor grado, por los materiales (vivienda, transporte, vestimenta, comunicación, etc.). Históricamente, el desarrollo y la evolución de las sociedades, han estado vinculados íntimamente a la capacidad de sus miembros para producir y conformar los materiales necesarios para su subsistencia y satisfacción de sus necesidades. En efecto, las primeras civilizaciones se conocen con el nombre del material que alcanzó mayor grado de desarrollo. En el presente aún vivimos en la edad de los metales, sin embargo, entre otros, se ha pasado por la etapa de los polímeros, la de los cerámicos más sofisticados, por el descubrimiento de los semiconductores en la década de los 50 y desde hace casi dos décadas, el desarrollo de nuevos materiales a nivel atómico y molecular nos ha introducido en el mundo de los nanomateriales y la nanotecnología, para los cuales hay grandes expectativas de aplicación en la medicina, la comunicación, la construcción, la catálisis, etc. En el presente trabajo se muestra un ejemplo de investigación en este campo.

INTRODUCCIÓN

Materiales y su evolución

Los grandes avances de la humanidad han sido posibles gracias a un *material* o a un conjunto de ellos. Como ejemplo podemos citar algunos de los avances más espectaculares de los años recientes: los polímeros, los transistores, el rayo láser o la fibra óptica.

Desde la aparición del Hombre sobre la faz de la Tierra, se vio obligado a luchar por su sobrevivencia y a la búsqueda de mejorar sus condiciones de vida, Aguilar (1a,b) realiza una descripción de los materiales utilizados por el Hombre a través del tiempo, mencionando que la explotación de los recursos naturales y el transformarlos a su mejor conveniencia, fue uno de sus primeros retos y continúa siendo una de sus principales preocupaciones. Asimismo, agrega que lo que ahora conocemos como *materiales* son productos evidentes del ingenio del hombre, a tal punto que nos resulta imposible imaginar actividad humana alguna en la que los materiales no sean determinantes y que, muchas veces, nos resultan tan familiares que no tomamos conciencia de su intervención en nuestra vida cotidiana.

Menciona también acertadamente, que la gran rapidez con que la ciencia y la tecnología se han desarrollado en el mundo durante las últimas décadas, ha tenido repercusiones sociales y culturales muy importantes. Actualmente, muchas de nuestras actividades cotidianas están vinculadas con algún producto de esa continua inquietud que por entender a la naturaleza, manifiesta el Hombre. Agrega que, a pesar de ello, pocas veces nos preguntamos sobre el origen y magnitud del esfuerzo realizado por esa fracción de la humanidad, los científicos, dedicados al estudio de los fenómenos naturales, el dominio de los cuales trae como consecuencia el desarrollo tecnológico el cual, a su vez, produce un cambio en nuestra vida diaria.

Los historiadores para describir la evolución del Hombre en la historia, dividen a la prehistoria en etapas que corresponden a la utilización de diversos materiales que significaron mucho en su evolución y avance; por ejemplo, la edad de piedra inicia con el paleolítico (*piedra tallada*), continúa con el periodo mesolítico

de transición, terminando en el neolítico; este periodo se llama así debido a que alcanzó su apogeo la *pedra pulida*, cuya técnica se llevaba al cabo con arena húmeda o seca, creando puntas de flecha, cuchillos y hachas.

Tiempo más tarde aparecieron las culturas que comenzaron a usar el *cobre* como material para hacer las herramientas, es decir la Edad de los Metales. En Egipto y Mesopotamia se encontraron objetos de *cobre* con 5,000 años de antigüedad. Posteriormente, se fue expandiendo el uso del cobre a través del Mediterráneo vía marítima y hacia Europa vía terrestre; éste es un metal muy maleable y los hombres lo fundían y le daban la forma que deseaban, luego lo mezclaron con el *estaño* y consiguieron el *bronce* que se usó para cuchillos, espadas y puñales y, por último, usaron el *hierro* que al ser un metal tan resistente les permitió fabricar armas pesadas para combatir animales peligrosos, construir embarcaciones y edificar ciudades, pero el desarrollo de la metalurgia (industria del hierro) sólo se alcanza en tiempos históricos, es decir, después de la aparición de la escritura. La prehistoria tuvo una duración de 10 millones de años por lo que la evolución fue lenta y difícil en ese periodo.

Es muy importante para comprender la evolución de la Ciencia de los materiales y su aplicación tecnológica, la lectura de la historia de la Física y algunos descubrimientos de la Química (2a, b), donde se describe que el Hombre inicia sus observaciones 400 años A.C. con Demócrito y sus discípulos, quienes profesaban la doctrina del atomismo según la cual las partes más elementales de la materia son diminutas, sólidas, incompresibles e indivisibles. Siendo indivisibles, se les llamó átomos. Demócrito afirmaba que los cambios ocurrían en el universo según se colocaban esas minúsculas partículas; las propiedades de la materia, por su parte, correspondían a las características de los átomos que la formaban. Muy poco de novedoso nos proponen para entender la estructura de la materia Aristóteles y su escuela, o la ciencia medieval. De hecho, antes del siglo XIX, los grandes científicos se ocuparon más bien del movimiento macroscópico de los cuerpos y de la astronomía, y no fue sino hasta los trabajos del químico francés Joseph Proust y de su colega inglés John Dalton, que el concepto atómico de Demócrito revivió y tomó su lugar en la ciencia. Completa su estudio con todos los descubrimientos relacionados con el átomo y sus partículas hasta el siglo XX, señalando que la teoría atómica de la materia avanza incontenible en el siglo XIX, mano a mano con la revolución industrial.

NANOTECNOLOGÍA

Algunas definiciones:

La palabra "**nanotecnología**" es usada extensivamente para definir las ciencias y técnicas que se aplican al nivel de nanoescala, esto es unas medidas extremadamente pequeñas denominadas "nanos" que permiten trabajar y manipular las estructuras moleculares y sus átomos. En síntesis, lo anterior nos llevaría a la posibilidad de fabricar materiales y máquinas a partir del reordenamiento de átomos y moléculas. El desarrollo de esta disciplina se produce a partir de las propuestas de Richard Feynman Premio Nóbel de Física en 1965. (3,4)

La **nanociencia** es el estudio del control de sistemas cuyo tamaño es de unos pocos nanómetros (1-100). Un nanómetro (nm) es 10^{-9} metros, alrededor de 10 átomos de hidrógeno. "Nano" es un prefijo griego que significa "mil millones" (una mil millonésima parte de un metro es la unidad de medida que se usa en el ámbito de la Nanotecnología). Un átomo es más pequeño que un nanómetro, pero una molécula puede ser mayor.

Un leucocito tiene alrededor de 10.000 nm de diámetro. La nanociencia trata de comprender qué pasa a estas escalas, y la nanotecnología busca manipularlo y controlarlo. Es un campo de las ciencias aplicadas, dedicado al control y manipulación de la materia a una escala menor que un micrómetro, es decir, a nivel de átomos y moléculas (nanomateriales) (5). Una dimensión de 100 nanómetros es importante en la

Nanotecnología, porque bajo este límite se pueden observar nuevas propiedades en la materia, principalmente debido a las leyes de la Física Cuántica.

La **nanotecnología** se caracteriza por ser un campo esencialmente multidisciplinar, y cohesionado exclusivamente por la escala de la materia con la que trabaja. (5) Para comprender el potencial de esta tecnología, es clave saber que las propiedades físicas y químicas de la materia cambian a escala *nanométrica*, lo cual se debe a efectos cuánticos. La conductividad eléctrica, el calor, la resistencia, la elasticidad, la reactividad entre otras propiedades, se comportan de manera diferente que en los mismos elementos a mayor escala (4).

Las nuevas estructuras con precisión atómica, tales como *nanotubos de carbono* o pequeños instrumentos para el interior del cuerpo humano pueden introducirnos en una nueva era, tal como señala Charles Vest (ex-presidente del MIT). Los avances nanotecnológicos protagonizarían de esta forma la sociedad del conocimiento, con multitud de desarrollos con una gran repercusión en su instrumentación empresarial y social (4).

| Cronología de la nanotecnología (4) | |
|--|--|
| Fecha | Acontecimiento |
| Años 40 | Von Neuman estudia la posibilidad de crear sistemas que se auto-reproducen como una forma de reducir costes. |
| 1959 | Richard Feynman habla por primera vez en una conferencia sobre el futuro de la investigación científica: "A mi modo de ver, los principios de la Física no se pronuncian en contra de la posibilidad de maniobrar las cosas átomo por átomo". |
| 1966 | Se realiza la película "Viaje alucinante" que cuenta la travesía de unos científicos a través del cuerpo humano. Ellos reducen su tamaño al de una partícula y se introducen en el interior del cuerpo de un investigador para destruir el tumor que le está matando. Por primera vez en la historia, se considera esto como una verdadera posibilidad científica. La película es un gran éxito. |
| 1985 | Se descubren los buckminsterfullerenos |
| 1986 | Sir Harry Kroto gana el Premio Nobel por haber descubierto los fullerenos |
| 1989 | Se realiza la película "Cariño, encogí a los niños", una película que cuenta la historia de un científico que inventa una máquina que puede reducir el tamaño de las cosas utilizando láser. |
| 1997 | Se fabrica la guitarra más pequeña del mundo. Tiene el tamaño aproximadamente de una célula roja de sangre. |
| 1998 | Se logra convertir a un <u>nanotubo de carbón</u> en un nanolápiz que se puede utilizar para escribir |
| 2001 | James Gimzewski entra en el libro de récords Guinness por haber inventado la calculadora más pequeña del mundo. |

Algunas aplicaciones

Según un informe de un grupo de investigadores de la Universidad de Toronto, Canadá (5), las catorce aplicaciones más prometedoras de la nanotecnología son: Almacenamiento, producción y conversión de energía; Armamento y sistemas de defensa; Producción agrícola; Tratamiento y remediación de aguas; Diagnóstico y cribaje de enfermedades; Sistemas de administración de fármacos; Procesamiento de alimentos; Remediación de la contaminación atmosférica; Construcción; Monitorización de la salud; Detección y control de plagas; Control de desnutrición en lugares pobres; Informática y Alimentos transgénicos.

En el laboratorio de IBM (Zurich), uno de los que ayudaron en la invención de aquel Microscopio de Fuerza Atómica (AFM por sus siglas en inglés) en 1986, se trabaja en la miniaturización a nivel nanómetro del registro de datos. El sistema de almacenamiento se basa en un conjunto de 1024 agujas de AFM en una matriz cuadrada, que pueden escribir bits de información de no más de 50 nanómetros de diámetro. El mismo conjunto es capaz luego de leer la información e incluso reescribirla.

En este sentido, se ha mencionado lo siguiente: “La capacidad de guardar información a esa escala es una noticia excitante para el mercado, pues multiplica inmensamente la cantidad de información que se puede almacenar en un área determinada. El mejor sistema actual de registro, basado en la memoria magnética, puede guardar alrededor de dos gigabits por centímetro cuadrado; los físicos creen que el límite físico de la capacidad de este sistema —no alcanzado aún— es de alrededor de 25 gigabits por centímetro cuadrado (64 gigabytes/in²)”. (6) Así mismo, los investigadores señalan que con millones de agujas, es decir con unidades de almacenamiento provistas de matrices gigantescas, se puede lograr un almacenamiento en el orden de los terabites, lo que representa 40 veces lo disponible actualmente en el mercado. (7)

Nanotubos de carbono

Los nanotubos de carbono (NTC) probablemente han existido desde mucho antes de que nos diéramos cuenta, y pueden haber sido hechos durante varios procesos de combustión de carbón y de deposición de vapor, pero la microscopía electrónica de ese tiempo no estaba lo suficientemente avanzada para poder distinguirlos.

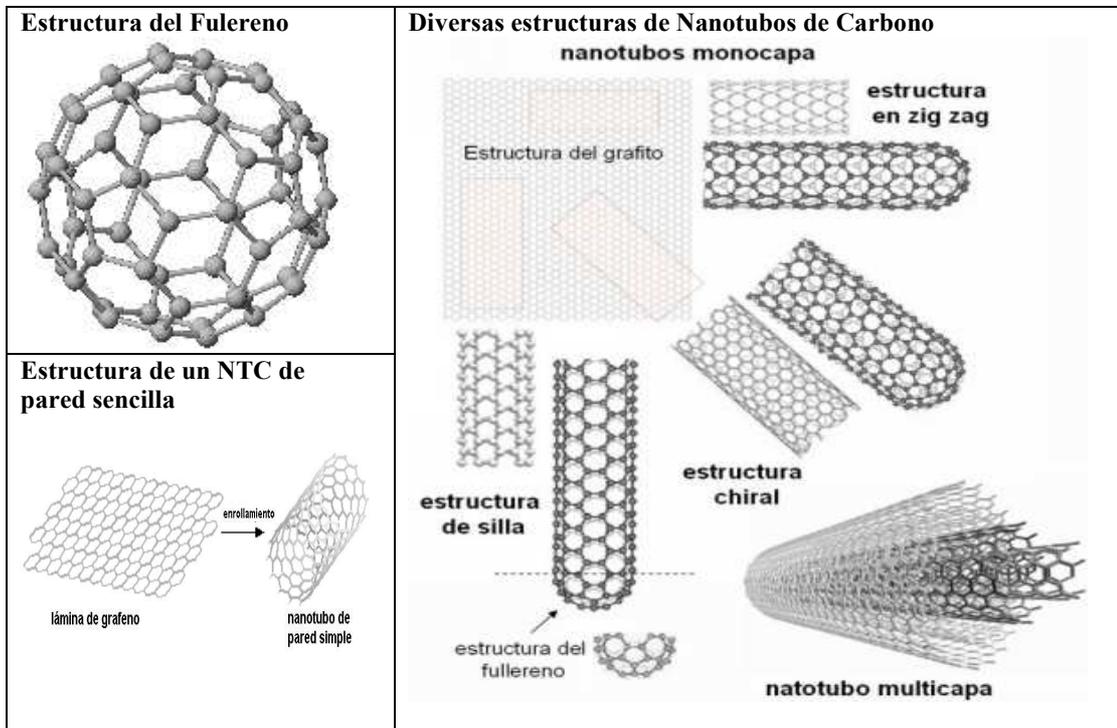
Los nanotubos de carbono (NTC's) fueron descubiertos en 1991 por Sumio Iijima (8), quien trabajando en un microscopio electrónico, observó la existencia de moléculas tubulares en el hollín formado a partir de las descargas de arco eléctrico, empleando grafito. Precursor de los NTC's es el fullereno, Los fullerenos son una forma alotrópica del carbono. Fueron descubiertos accidentalmente por los grupos de Smalley y Kroto en 1985 (9), siendo galardonado su descubrimiento con el premio Nóbel de química en 1996. El intento de producir fullerenos dopados con metales resultó en el descubrimiento de los nanotubos, que fueron inicialmente denominados Buckytubes. Los nanotubos obtenidos eran cilindros cerrados en los extremos por un casquete esférico con la estructura de un fullereno. Estos nanotubos presentaban diferentes estructuras en función de la orientación de los hexágonos del grafeno respecto del eje. (10)

Una forma alotrópica del carbono en la cual los átomos de carbono presentan una **hibridación intermedia entre la sp^2 y la sp^3** es el **fulereno**. Este tipo de hibridación hace posible que los átomos de carbono puedan combinarse formando hexágonos y pentágonos en estructuras tridimensionales cerradas. El fullereno más común es el C₆₀ (de 60 átomos de carbono) y es similar a un balón de fútbol, aunque también se han descrito otros fullerenos: C₇₆,...C₁₀₀, etc. Los NTC's prestan también estas hibridaciones intermedias y pueden considerarse como láminas de grafito enrolladas en forma de tubos. Los nanotubos pueden ser abiertos o cerrados, en cuyo caso la estructura que cierra el nanotubo es similar a la mitad de un fullereno. Los nanotubos también pueden ser de monocapa (de una sola capa) o multicapa (varias capas concéntricas) (10)

Desde entonces, ha habido una intensa actividad científica relacionada a la síntesis y propiedades de los NTC's, así como también de sus aplicaciones en varias áreas de la ciencia. De hecho, los NTC's representan uno de los mejores ejemplos de las nanoestructuras, derivadas del progreso de la síntesis química de nuevos materiales. Es importante destacar, que los NTC's poseen una composición química y configuración atómica sencilla, sin embargo, dentro los nanomateriales conocidos hasta hoy día éstos exhiben, posiblemente, la más vasta diversidad y riqueza en relación a sus estructuras y propiedades intrínsecas. Es decir, existe un gran número de posibilidades en los tipos de moléculas de NTC's que pueden ser obtenidos, ya que cada NTC's puede presentar propiedades físicas distintas a otros NTC's preparados en condiciones diferentes. En este sentido, la síntesis controlada de nanotubos de carbono abre interesantes oportunidades en el campo de la nanotecnología, dado que es una forma de controlar también

sus propiedades eléctricas y mecánicas. Por ejemplo, la funcionalización química de los NTC's permite su empleo como catalizadores, sensores moleculares y aun sirviendo como interfase en sistemas biológicos.

Diversas estructuras de Carbono (10)



Los nanotubos y nanofibras de carbono presentan propiedades morfológicas, mecánicas y electrónicas excepcionales, que permiten su aplicación en muchos campos que van desde una amplia gama de componentes electrónicos, al reforzamiento de materiales (conductividad eléctrica y resistencia mecánica), al almacenamiento de gases, sobre todo y de manera sobresaliente el hidrógeno y a la utilización como soportes catalíticos (11, 12).

Métodos de preparación de NTC's

Existen varios métodos para producir nanotubos y nanofibras de carbono, se pueden mencionar tres en general: **arco de descarga eléctrica** (grafito a 3000° C), **ablación o erosión láser** (1200° C), **pirólisis de hidrocarburos** (~ 1100 °C) (13) y la **deposición química en fase vapor (CVD por sus siglas en inglés)** (~ 600-800 °C) utilizando metano e H₂ como reactivos (14, 15, 16). Este último tiene la ventaja de que las estructuras de los catalizadores que inician el crecimiento pueden ser definidos litográficamente, así los métodos catalíticos parecen ser de los más prometedores para su producción a gran escala (de Jong K.P., 2000). Además, las propiedades de estos materiales están fuertemente ligados a su morfología y estructura, por lo que la síntesis de grandes cantidades de nanotubos y/o nanofibras de morfología y estructura específicas, pueden ser esenciales en vista de sus aplicaciones (11, 17).

Proyecto en desarrollo

En el Área de Química de Materiales, del Departamento de Ciencias Básicas, División de CBI de la UAM-A, se desarrolla el proyecto **“Nanotubos de carbono a partir de la descomposición de hidrocarburos en metales incorporados a sólidos mesoporosos y sus propiedades texturales en la**

adsorción de hidrógeno”, cuyo objetivo es aplicar los NTC’s dentro de las tecnologías limpias al implementar el hidrógeno como combustible, dado que este gas es considerado como un medio ideal de energía para reemplazar el uso de combustibles fósiles (18). Sin embargo, su uso se ve limitado debido a problemas relacionados con su almacenamiento; para usos prácticos el hidrógeno, además de inseguro, tiene que ser comprimido o licuado lo que eleva los costos. Actualmente, se ha demostrado que los procesos de adsorción para el almacenamiento de hidrógeno son los más prometedores, debido a que son más seguros y eficientes. En ese sentido se están desarrollando diversos materiales, y se sabe que los nanotubos de carbono poseen excelente desempeño para almacenar el hidrógeno (19)

Método de obtención de NTC’s seleccionado

Actualmente, los métodos por erosión Láser y CVD son los usados principalmente para obtener pequeñas cantidades de NTC de alta calidad. No obstante, ambos métodos tienen sus inconvenientes. El primero es que involucra la evaporación de la fuente de carbono, por lo que aún no está claro como se pueden producir a nivel industrial de esta manera. El segundo problema es el hecho de que los métodos de vaporización hacen crecer NTC en formas desordenadas, mezclados con formas indeseadas de carbono y/o especies metálicas. De tal forma que, los NTC así producidos son difíciles de purificar, manejar y ensamblar para construir dispositivos y estructuras de nanotubos para aplicaciones prácticas. (20)

Método de deposición química en vapor (CVD)

El método de deposición química en vapor de hidrocarburos, sobre un catalizador metálico es el método clásico que se ha utilizado para producir varios materiales de carbono tales como fibras y filamentos durante más de veinte años (13). En este sentido se han hecho muchos esfuerzos por adaptarlo con el fin de producir grandes cantidades de NTC, vía la CVD catalítica. (21). Si bien este método se visualiza como el más promisorio para la obtención de este tipo de materiales, no existe sin embargo, hasta el momento ningún método que produzca nanotubos de carbono a granel, de número de paredes controlado, con diámetros y quiralidad uniforme.

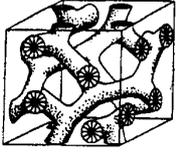
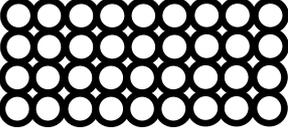
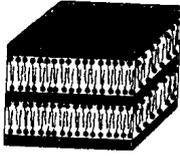
Por ello, el presente trabajo propuso el estudio de la síntesis de NTC’s, por medio del método de deposición química en vapor, utilizando como catalizadores *materiales mesoestructurados* tipo MSM, SBA modificados con cationes metálicos, así también los compuestos tipo *hidrotalcita multimetálicas* como precursores óxidos metálicos mixtos homogéneos, con el fin de aprovechar las características particulares de cada uno de ellos y su repercusión en las propiedades finales de los NTC’s.

De igual forma, se contempla la variación de las fuentes de carbón, se tiene considerado en primera instancia el uso de alcanos, naftenos y resinas epóxicas, entre otras. En particular se ha iniciado la investigación con etileno y propileno y mezcla de los mismos con hidrógeno.

Materiales mesoestructurados M41S

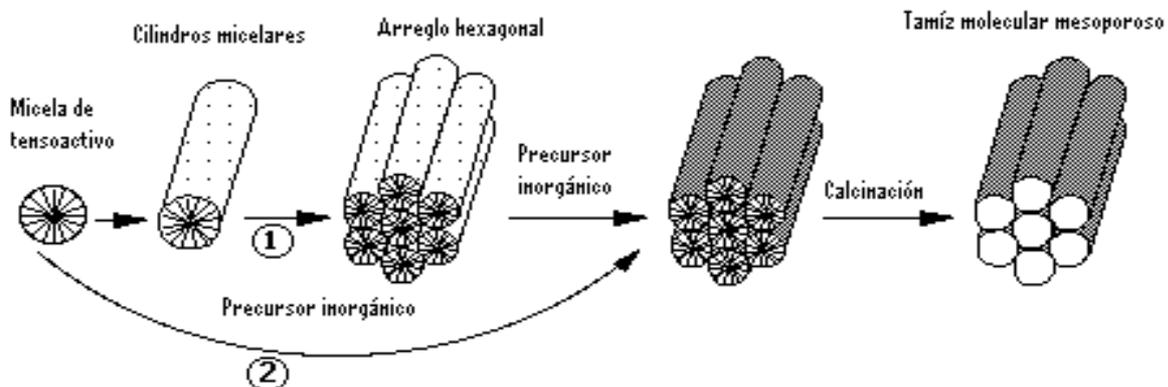
A principios de los años noventas, algunos científicos de la Mobil Oil Corporation (Beck et al., 1992; Kresge et al., 1992), así como investigadores japoneses (Inagaki et al., 1990; Yanagisawa et al., 1990); reportaron la primera síntesis satisfactoria de materiales mesoestructurados y periódicos. Ellos utilizaron un nuevo concepto, al emplear en la síntesis, moléculas que funcionan como un agente formador de estructura. Lo antes mencionado propició el descubrimiento de una familia de materiales mesoporosos (denominados M41S) denominados también tamices moleculares. Estos materiales poseen orden de largo alcance, tienen poros uniformes de diámetro grande, además de contar con una gran área específica. Se encuentran agrupados en tres fases principales:

FASES PRINCIPALES DE MATERIALES M41S

| | | |
|---|--|---|
| <p>b) MCM – 41 hexagonal</p> <p>Sobresale por ser térmicamente estable, tiene una estructura hexagonal en la cual el poro se encuentra en forma unidimensional.</p> |  |  |
| <p>c) MCM – 48 cúbica</p> <p>Es térmicamente estable, sin embargo presenta una estructura cúbica, en la cual el sistema de poro tiene un arreglo tridimensional.</p> |  |  |
| <p>d) MCM – 50 laminar</p> <p>No presenta estabilidad térmica</p> |  |  |

Síntesis de MCM-41

El mecanismo de síntesis del sólido MCM-41 se llevó a temperatura ambiente y se muestra a continuación: se utiliza un surfactante (cetiltrimetilamonio) con una concentración micelar crítica que produce micelas altamente elongadas en agua y el cual tiene la función de orientador de estructura y favorece la fase hexagonal. En la segunda etapa se agrega la fuente de silicio, el silicio rodea a las micelas, formando arreglos hexagonales de cilindros micelares; por último la remoción del orientador de estructura por calcinación da como resultado la estructura del material MCM-41 (Corma)



Inclusión de metales en el sólido MCM-41 como soporte catalítico

Recientemente, se ha demostrado que la utilización de materiales mesoporosos tipo MCM-41, conteniendo Co o bien Ni, podían ser utilizados con éxito como “templante” para la síntesis de nanotubos de carbono de monoparedes calibradas (27,28), o bien de nanofibras de carbono (29). Estos trabajos pioneros han mostrado la potencialidad de tal enfoque. En efecto, los materiales mesoporosos MCM-41 presentan estructuras similares a los panales de abeja con poros a los que se les puede modular el tamaño (1.5 a 10 nm) y con paredes de sílice amorfa (22). Además, se puede ya sea incluir a los metales en la

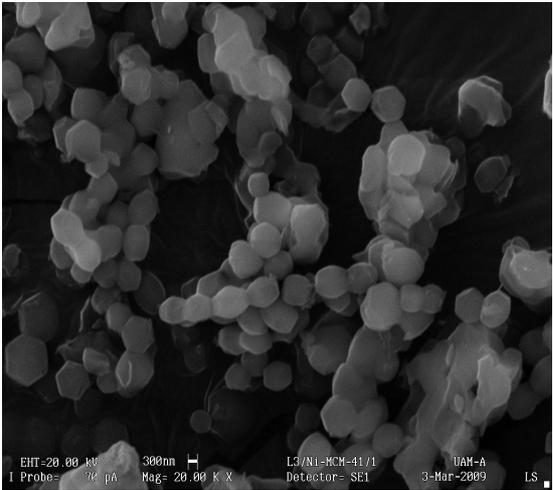
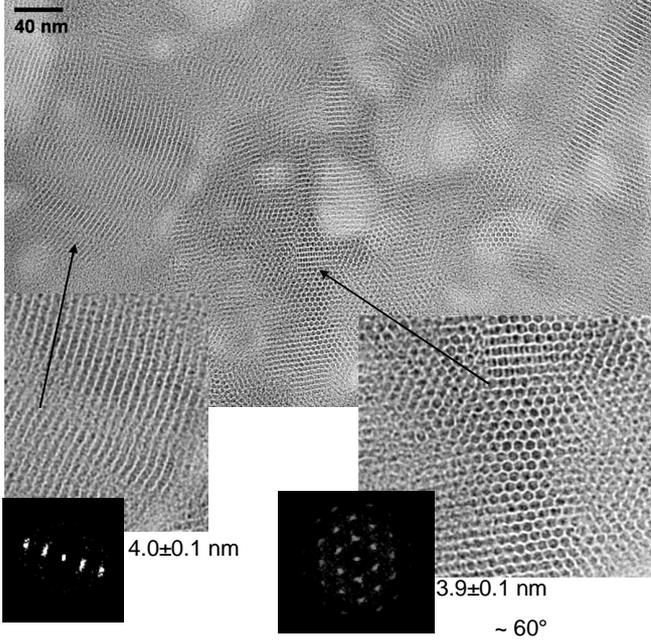
estructura del material durante la síntesis (27), ya sea impregnando partículas metálicas nanométricas en los canales después de la síntesis del material mesoporoso (30). De esta manera, se puede obtener, ya sea a partir de gérmenes metálicos nanométricos, nanotubos calibrados por el tamaño de los poros (27,28) o bien, obtener nanopartículas metálicas cuyo tamaño será controlado por los poros de la MCM-41, y a éstos a su vez se les puede variar su tamaño.

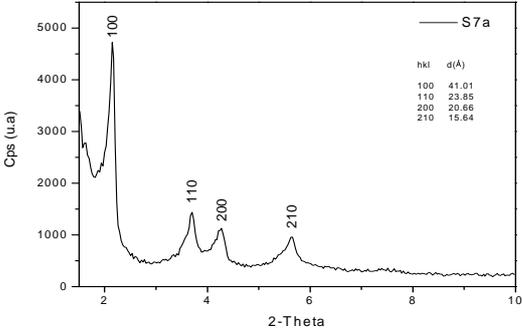
Resultados obtenidos hasta el momento

Síntesis de MCM-41

De manera general, las síntesis de MCM-41 se realizaron en medio alcalino a una temperatura de 30°C. Se probaron dos procedimientos para la síntesis directa de materiales MCM-41 (protocolos de Cai *et al.*, 1999 y Grubert *et al.*, 2000). La diferencia consistió en la cantidad y el momento de adicionar el hidróxido de amonio. Se sintetizó MCM-41 sin adicionar ninguna sal metálica para posteriormente en una segunda etapa incorporar el metal de transición por impregnación. También, se sintetizaron materiales MCM-41 agregando la sal metálica durante la síntesis. Se han preparado con los metales Ni, Fe y Co.

A manera de ejemplo, a continuación se muestran los resultados de la caracterización del sólido MCM-41 sin el metal, por Microscopía electrónica de Barrido (MEB) y de transmisión de alta resolución (METHR) y difracción de rayos-X y la superficie específica presentada por dicho sólido. En la actualidad, se encuentra en proceso la síntesis de los NTC's en los sólidos sintetizados y caracterizados.

| Microscopía Electrónica de Transmisión | Microscopía Electrónica de Alta Resolución |
|---|--|
|  |  |
| Morfología de los cristales de MCM-41 | Se observan dos zonas: la forma hexagonal a la derecha y la laminar a la izquierda, ambas en la misma muestra, estas estructuras, en particular la de panal, servirán de molde a la síntesis de Nanotubos de Carbono |

| Difracción de rayos-X del sólido sintetizado MCM-41 | Caracterización Textural (N₂ a -196°C) |
|--|---|
|  | ÁREA específica BET [m²/g] 941.2986 |
| Se observan los picos característicos del sólido, lo cual muestra su obtención exitosa | VOLUMEN de poro [cc/g] De poro total del punto simple de poros con diámetro menor a 1225.6208 Å en P/Po= 0.9839 0.890560 |
| | TAMAÑO DE PORO [Å] Diámetro promedio de poro (4V/4 por BET) 37.9074 |

Conclusión

De acuerdo a los resultados obtenidos y en acuerdo a la literatura, los materiales obtenidos muestran las características apropiadas para ser utilizados como soportes catalíticos en la síntesis de Nanotubos de Carbono, etapa que se desarrolla en el presente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1a. UNA OJEADA A LA MATERIA

Guillermo Aguilar Sahagún; Salvador Cruz Jiménez y Jorge Flores Valdés

Primera Edición (La Ciencia desde México), 1987 FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, S. A. DE C. V. Primera reimpresión 1995;

1b. 2ª. Edición (La Ciencia para todos) 1997 FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, S. A. DE C. V.

2a. EL HOMBRE Y LOS MATERIALES

Guillermo Aguilar Sahagún

1ª. Edición (La ciencia desde México), 1988 FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, S. A. DE C. V.

2b. Tercera reimpresión, 1995; Segunda Edición (La Ciencia para todos), 1997 FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, S. A. DE C. V.

3. http://es.wikipedia.org/wiki/Richard_Feynman

4. http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/historia_nanotecnologia.htm

5. <http://es.wikipedia.org/wiki/Nanociencia>

6. Waldner, Jean Baptiste;(2008). Nanocomputers and Swarm Intelligence. ISTE [John Wiley & Sons](#), págs. p172. ISBN 1847040020

7. http://es.wikipedia.org/wiki/Nanotecnología#Nanotecnolog.C3.ADA_avanzada

8. S. Iijima, Nature, 1991, 354, 56

9. H. W. Kroto, et al., Nature, 1985, 318, 162

10. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/Basic/alcca_qf/cap4.PDF
http://en.wikipedia.org/wiki/Allotropes_of_carbon
11. de Jong K.P. et al. Carbon-Nanofibers: Catalytic Synthesis and Applications. *Catal. Review Sci. Eng.* 42, 481 (2000).
12. Gadiou R., Saadallah S-E., Piquero T., David P., Parmentier J., Vix-Guterl C. The Influence of textural properties on the adsorption of hydrogen on ordered nanostructured carbons. *Microporous and Mesoporous Materials* 79, 121-128 (2005)
13. Endo M., *Chemtech*, 1988,18, 568.
14. Kidena, Koh; Kamiyama, Yuma; Nomura, Masakatsu. A Possibility of the Production of Carbon Nanotubes from Heavy Hydrocarbons. *Fuel Process. Technol.* 89, 449-454, 2008.
15. Dupuis, Ann-Claire. The Catalyst in the CCVD of Carbon Nanotubes - A Review. *Prog. Mat. Sci.* 50 (8), 929-961, 2005.
16. Kong J., Soh, H.T., Cassell, A.M., Quate, C.F., Dai, H.J. *Nature* 395, 878-881, 1998
17. Zhen, Yu., Shendong Li., and Peter J. Burke. Synthesis of aligned arrays of millimeter long, straight single-walled carbon nanotubes. *Chemical Materials*, 2004.
18. Figueroa-Torres, M. Zyzlila; Robau-Sánchez, A.; De la Torre-Sáenz, L.; Aguilar-Elguézabal, A. Hydrogen Adsorption by Nanostructured Carbons Synthesized by Chemical Activation. *Micropor. Mesopor. Mat.* 98, 89-93, 2007.
19. Ramachandran, Savidha; Ha, Jang-Hoon; Kim, Do Kyung. Hydrogen Storage Characteristics of Metal Oxide Doped Al-MCM-41 Mesoporous Materials. *Catal. Commun.* 8 (12), 1934-1938, 2007.
20. Dai H., *Acc. Chem. Res.*, 2002, 35, 1035.
21. Andrews R., et al. *Acc. Chem. Res.*, 2002, 35, 1008.
22. Beck, J.S., Vartulli, J.C., Roth, W.J., Leonowics, M.E., Kresge, C.T., Schmitt, K.D., Chu, C.T-W., Olson, D.H., Sheppard, E. W., McCullen, S.B., Higgins, J.B., Schlenker, J.L. A New Family of Mesoporous Molecular Sieves Prepared with Liquid Crystal Templates. *J. Am. Chem. Soc.* 114, 10834 (1992).
23. Kresge, C. T.; Vartuli, J. C.; Beck, J. S. Ordered Mesoporous Molecular Sieves Synthesised by a Liquid – Cristal Template Mechanism. *Nature* 359, 710-712, 1992.
24. Inagaki, S.; Fukushima, Y.; Kuroda, K. Synthesis of Highly Ordered Mesoporous Materials From a Layered Polysilicate. *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* 680-682, 1993.
25. Yanagisawa, T.; Shimizu, T.; Kuroda, K.; Kato, C. The preparation of Alkyltrimethylammonium - Kanemite Complexes and their conversion to Mesoporous Materials; *Bull Chem. Soc. Jpn.* 63, 988, 1990.
26. Corma, A. From microporous to mesoporous molecular sieve materials and their use in catalysis. *Chemical Reviews*, American Chemical Society, Vol. 97, No. 6, pp. 2373-2419 1997.
27. Lim et al. Synthesis and characterization of highly ordered Co-MCM-41 for production of aligned single walled carbon nanotubes (SWNT). *J. Phys. Chem B* 107, 11048 (2003).
28. Ciuparu D.J. et al. Uniform diameter single-walled carbon nanotubes catalytically grown in cobalt-incorporated MCM-41. *Phys. Chem B* 108, 503 (2004).
29. Jia J. et al. Carbon fibers prepared by pyrolysis of methane over Ni/ MCM-41 catalysts. *Microporous and Mesoporous Materials.* 57, 283 (2003).
30. Panpranot J. et al. A comparative study of Pd/SiO₂ and Pd/ MCM-41 catalysts in liquid-phase hydrogenation. *Catalysis Communications.* 5, 583 (2004).