

Recepción: 09.02.2026

Revisión: 01.03.2026

Publicación: 08.05.2026

<https://orcid.org/0000-0001-9330-4123>

<https://orcid.org/0009-0003-7330-3619>

<https://orcid.org/0009-0002-4992-0521>

<https://orcid.org/0009-0008-2167-5388>

<https://orcid.org/0000-0001-7186-4429>

MCM-41: MATERIAL INNOVADOR EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y APLICACIONES DIGITALES EMERGENTES

MCM-41: INNOVATIVE MATERIAL IN INFORMATION TECHNOLOGIES AND EMERGING DIGITAL APPLICATIONS

Yesmin Panecatl-Bernal¹

María de Jesús Juárez-Sánchez²

Esmeralda Centeno-Castillo²

Minerva Matlalcuatzi-Cruz²

José Joaquín Alvarado-Pulido³(*)

¹Centro Tecnológico Aragón, Facultad de Estudios Superiores Aragón,
Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad Nacional S/N,
Bosques de Aragón, Cdad. Nezahualcóyotl, C.P. 57171, México.

²Ingeniería Tecnologías de la Información e Innovación Digital, Universidad
Tecnológica de Tecamachalco, Av. Universidad Tecnológica 1, Barrio la Villita,
Tecamachalco, Puebla, C.P. 75483, México.

³Centro de Investigación en Dispositivos Semiconductores, Instituto de Ciencias,
ICUAP, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. 14 Sur y Av. San Claudio,
Col. San Manuel, Puebla, Puebla, C.P. 72560, México

*Autor de correspondencia:

apoyo2.mecanica@aragon.unam.mx, 24326010@estudiante.uttecama.edu.mx,
esmeralda.cc@personal.uttecama.edu.mx, minerva.mc@personal.uttecama.edu.
mx, joaquin.alvarado@correo.buap.mx

Resumen

El presente trabajo destaca la relevancia del material mesoporoso MCM-41 como una alternativa innovadora y prometedora especialmente en el ámbito de las tecnologías de la información y la innovación digital. Gracias a su estructura ordenada, alta área superficial y propiedades fisicoquímicas únicas, el MCM-41 se perfila como un componente clave en el diseño de dispositivos avanzados como sensores ambientales, capacitores MOS, sistemas neuromórficos y láseres de nueva generación. Estos desarrollos tienen aplicaciones potenciales en campos emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), la inteligencia artificial y la computación cuántica. A pesar de sus ventajas, la investigación sobre el uso educativo y tecnológico del MCM-41 aún es limitada, lo que representa una oportunidad estratégica para impulsar estudios interdisciplinarios que vinculen ciencia de materiales, ingeniería electrónica y formación académica. Este enfoque puede fomentar el pensamiento crítico, la creatividad y la participación activa de estudiantes en proyectos de innovación sustentable.

Palabras clave: MCM-41, dispositivos electrónicos, tecnologías de la información, innovación digital, educación científico-tecnológica.

Abstract

This work highlights the relevance of the mesoporous material MCM-41 as innovative and promising, especially in the field of information technologies and digital innovation. Thanks to its ordered structure, high surface area, and unique physicochemical properties, MCM-41 emerges as a key component in the design of advanced devices such as environmental sensors, MOS capacitors, neuromorphic systems, and next-generation lasers. These developments have potential applications in emerging fields such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence, and quantum computing. Despite its advantages, research on the educational and technological use of MCM-41 is still limited, which represents a strategic opportunity to promote interdisciplinary studies linking materials science, electronic engineering, and academic training. This approach can foster critical thinking, creativity, and active student participation in sustainable innovation projects.

Keywords: MCM-41, electronic devices, information technologies, digital innovation, scientific-technological education.

Introducción

Las tecnologías de la información (TI) constituyen el conjunto de herramientas y sistemas empleados para crear, almacenar, procesar y transmitir información, abarcando desde hardware y software hasta redes de telecomunicaciones y datos (Torres Manrique & Torres Manrique, 2024). La innovación digital, por su parte, representa la aplicación estratégica de estas tecnologías para generar soluciones transformadoras que optimizan procesos, fomentan la eficiencia y crean nuevos productos y servicios en diversos sectores (Aguado Cortés et al., 2024). Esta innovación va más allá de la simple adopción tecnológica, ya que implica automatizar procesos para reducir tiempos de ejecución, mejorar la productividad mediante la optimización de recursos, facilitar la colaboración a distancia, desarrollar soluciones disruptivas como los servicios fintech, y analizar grandes volúmenes de información para la toma de decisiones estratégicas (Russo et al., 2024). Entre los ejemplos más destacados de innovación digital se encuentran los dispositivos inteligentes, el Internet de las cosas (IoT) que conecta objetos cotidianos a la red, los sistemas avanzados de ciberseguridad para proteger información sensible, y los sistemas inteligentes que replican capacidades de la inteligencia humana (Storey et al., 2025). El Internet de las cosas (IoT) es una red de dispositivos físicos interconectados mediante sensores, software y conectividad que permite recopilar, compartir y analizar datos en tiempo real. Esta tecnología faci-

lita la comunicación autónoma entre dispositivos inteligentes, lo que permite supervisar parámetros como temperatura, humedad, calidad del aire y rendimiento, optimizando operaciones empresariales. Entre sus principales beneficios destacan la mejora de la eficiencia, la toma de decisiones basada en datos, el ahorro de costos mediante automatización de tareas, y la personalización de la experiencia del cliente (Zong et al., 2025).

Actualmente, en la era del mundo de tecnologías de la información e innovación digital se requiere la exploración de nuevos materiales avanzados para el desarrollo de sensores, dispositivos con inteligencia artificial, capacitores, chips, entre otros. Entre estos materiales prominentes, el material mesoporoso MCM-41 es un candidato idóneo para estas aplicaciones debido a sus propiedades fisicoquímicas únicas que lo han usado en catálisis, remediación ambiental, liberación de fármacos principalmente (de Queiros Souza et al., 2025). Es escasa su exploración en el área de tecnologías de la información e innovación digital. En este trabajo se tiene como objetivo mostrar las propiedades que tiene el MCM-41 para el desarrollo de sensores y dispositivos electrónicos que se pueden usar en el área de tecnologías de la información e innovación digital. Para poder en el futuro desarrollar proyectos interdisciplinarios que fomenten la creatividad y pensamiento crítico en la educación STEM.

¿Por qué la síntesis y caracterización del MCM-41 son claves para el futuro de la ciencia y la tecnología?

El material mesoporoso MCM-41 (Mobil Composition of Matter No. 41) de composición química óxido de silicio (SiO_2) que fue descubierto por la compañía Mobil Corporation Oil en 1992 como parte de la familia M41S, posee un arreglo hexagonal con una estructura ordenada de poros análogo a un panal de abeja en el rango de 2 a 10 nm con una gran área superficial específica entorno de 1000 m²/g y tiene estabilidad térmica. Estas propiedades hacen que este material tenga diferentes aplicaciones

como ha sido reportado en la literatura para catálisis, adsorción, liberación controlada de fármacos y sensores químicos. Debido a que la superficie del MCM-41 posee diferentes grupos funcionales como los hidroxilos (OH) o silanol es factible alojar diferentes moléculas orgánicas e inorgánicas en sus cavidades formando composites para aplicaciones nanotecnológicas. (Martínez-Edo et al., 2018). Por ejemplo, Bravo de Luciano G.M. et al. (Bravo de Luciano et al., 2022). reportó la incorpora-

ción de nanopartículas metálicas de plata en los poros del MCM-41 para el desarrollo de un capacitor MIS. Este material mesoporoso se puede obtener en forma de polvo o de película, siendo versátil para diferentes aplicaciones (Bernal et al., 2019).

La síntesis del material mesoporoso MCM-41 se basa en el uso de surfactantes catiónicos como el bromuro de hexadeciltrimetilamonio (CTAB) que van a formar una micela esférica común-

mente en un medio básico y estas micelas se auto ensamblan formando rodillos micelares y los rodillos micelares se ordenan formando una estructura hexagonal. Esta estructura hexagonal es recubierta por una fuente de sílice como el tetraetilortosilicato (TEOS), formando el MCM-41. La estabilidad mecánica del material es adquirida por tratamientos térmicos (Habeche et al., 2020). La Figura 1 muestra una representación esquemática del proceso de formación del MCM-41.

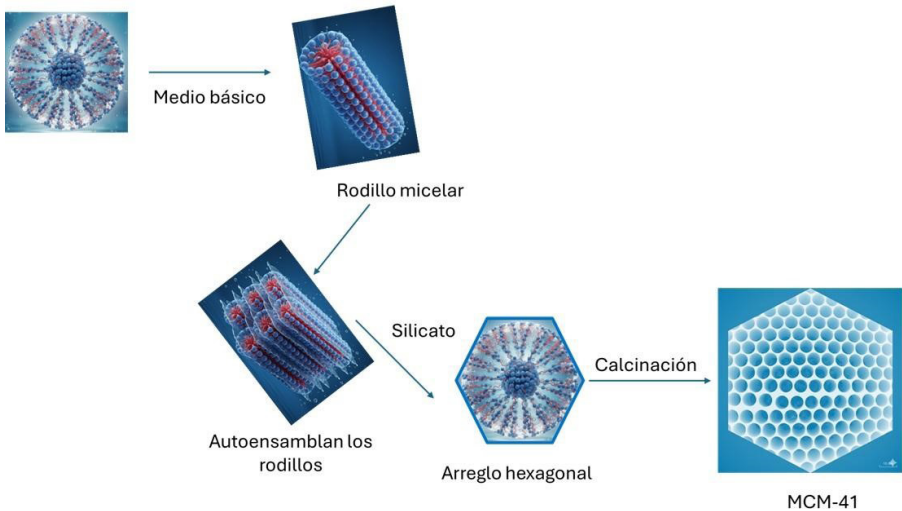


Figura 1. Representación esquemática del proceso de formación del MCM-41.

Fuente Propia

La literatura reporta diferentes métodos de síntesis del material MCM-41 como se enuncian a continuación: proceso hidrotérmico convencional, síntesis asistida por microondas y por ultrasonido.

Las técnicas clásicas de caracterización estructural y morfológica de este material mesoporoso usadas son SEM (microscopía electrónica de barrido) para ver la morfología del material, EDS (espectroscopia de energía dispersiva) para

conocer la composición química del MCM-41, TEM (microscopía electrónica de transmisión) para ver los poros y planos del material, DRX (difracción de rayos-x) para determinar la estructura cristalina del MCM-41, FTIR (espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier) para identificar los grupos funcionales del material. Además, se realizan pruebas texturales usando la técnica de adsorción y desorción de nitrógeno para conocer el área superficial, volumen y diámetro de poro.

¿Sabes cuales son las aplicaciones del MCM-41 en el área de tecnologías de la información e innovación digital?

Debido a las propiedades que posee en el material mesoporoso MCM-41 puede ser usado en diferentes aplicaciones de tecnologías de la información e innovación digital como sensores, capacitores MOS y dispositivos neuromórficos principalmente.

Sensores.

Un sensor en el contexto de internet de las cosas (IoT), es un dispositivo que detecta y mide condiciones ambientales o físicas, tales como temperatura, movimiento y las convierte en una señal eléctrica o digital que puede ser procesado en un sistema computacional. Los tipos de sensores relacionados con IoT son ambientales, eléctricos, presencia y movilidad, electromagnéticos, ópticos, químicos y físicos (Brida et al., 2021) como se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Tipos de sensores para IoT.

De Los 10 principales tipos de sensores IoT, casos de uso y ejemplos, por Simbase, 2026, sitio web de Simbase (Los 10 principales tipos de sensores IoT, casos de uso y ejemplos) Copyright 2026 por Simbase.

Para el desarrollo de sensores existe una amplia gama de materiales que pueden emplearse, tales como nanopartículas metálicas, semiconductores, nanoestructuras de carbono, materiales bidimensionales (2D), materiales piezoeléctricos y nanocomposites. La selección del material apropiado depende de la función específica del sensor y del analito a detectar, buscando establecer una afinidad adecuada entre ambos (Ju et al., 2023). El MCM-41 posee una gran superficie específica que es un parámetro importante para el área de sensado. La literatura reporta sensores químicos, gases. Por ejemplo, Panecatí-Bernal Y et al. (Panecatí-Bernal et al., 2023) reportó un estudio de un dispositivo capacitor MIS (metal-aislante-semiconductor) basado en el MCM-41 para detección de diferentes tipos de solventes polares próticos (metanol, etanol, isopropanol) y apróticos (DMSO, acetona, DMF) y no polares (hexano, tolueno, xileno).

Capacitores MOS

El capacitor MOS (metal-óxido-semiconductor) es un dispositivo cuya función principal es almacenar cargas eléctricas, como se ilustra en la Figura 3. Este tipo de dispositivos son fundamentales en tecnología de semiconductores (Hou et al., 2024).

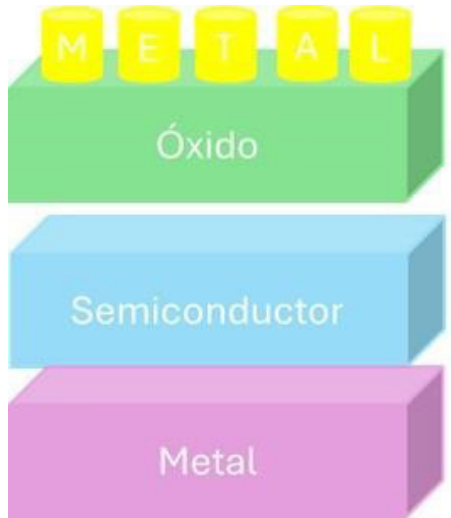


Figura 3. Representación esquemática de la estructura de un capacitor MOS. Fuente propia.

Los capacitores MOS en IoT tienen diferentes aplicaciones: como sensores capacitivos para detectar proximidad, humedad, radiación, presión o nivel de líquidos; en almacenamiento y gestión de energía (ver Figura 4), donde pueden almacenar pequeñas cantidades de energía y regular voltajes en circuitos integrados; y en la miniaturización de componentes, ya que la tecnología MOS permite fabricar capacitores de tamaño reducido para integrarlos en dispositivos portátiles, wearables y sensores embebidos (Cheng et al., 2021).

El MCM-41 se comporta como un material aislante debido a su composición química que es óxido de silicio (SiO_2), siendo esta propiedad importante para el desarrollo de dispositivos capacitores MOS (metal-óxido-semiconductor) con valores altos de capacitancia, debido a su gran área superficial.

Por ejemplo, Panecatí-Bernal Y et al. (Bernal et al., 2015) reportó que el capacitor MIS (metal-aislante-semiconductor) con el material MCM-41 puede

tener altos valores de capacitancia aproximadamente $1 \mu\text{Fcm}^{-2}$ a 100 Hz siendo prominente para el desarrollo de sensores o biosensores.

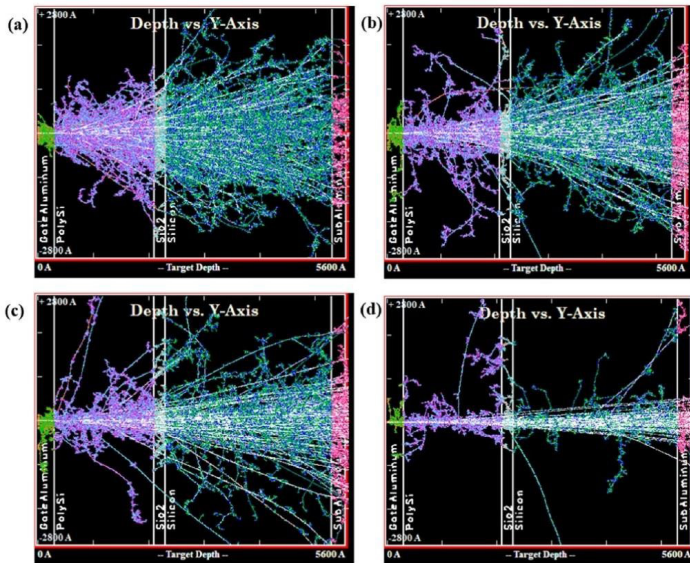


Figura 4. Ejemplo de aplicación de un sensor de radiación con estructura de capacitor MOS. (Anjankar & Dhavse, 2024) <https://doi.org/10.1007/s13369-023-08673-0>

Dispositivos Neuromórficos.

Un dispositivo neuromórfico trata de imitar el comportamiento del funcionamiento del cerebro humano, a través de la forma en que las neuronas y sinapsis procesan información (Cao et al., 2025). La base de estos dispositivos neuromórficos son los dispositivos memristores especialmente en la imitación de las sinapsis artificiales, permitiendo aprendizaje, adaptación y procesamiento eficiente (S. Chen et al., 2023) ver Figura 5.

Los dispositivos memristores son importantes para diversas aplicaciones en computación neuromórfica, almacenamiento de datos, seguridad y criptografía, eficiencia energética y otros campos (Lanza et al., 2025). La estructura de un dispositi-

vo memristor típicamente está conformada por metal-aislante-metal (metal-insulator-metal-MIM) como es mostrado en la Figura 6 (a), (Omar et al., 2023). Por ejemplo, el electrodo superior puede ser de titanio, la capa activa puede ser un óxido semiconductor resistivo como el óxido de hafnio, y el electrodo inferior puede ser de ITO (óxido de indio-estaño), que es un material conductor (Kim et al., 2024) ver Figura 6 (b). Esta configuración de óxido de hafnio es de un memristor de memoria no volátil, es decir que retiene datos sin energía. Debido a que el óxido de hafnio permite la formación y ruptura de filamentos conductores cuando se aplican pulsos eléctricos, generando estados de alta y baja resistencia eléctrica (Swathi & Angappane, 2022).

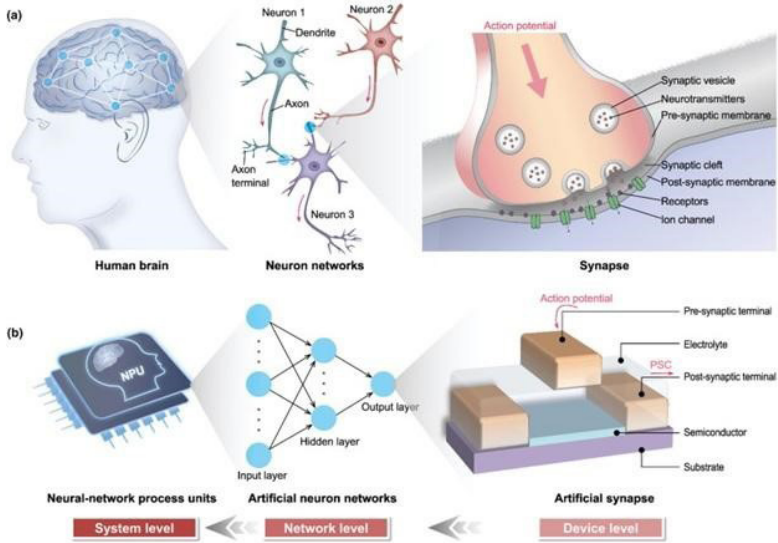


Figura 5. Comparación del sistema nervioso humano y un dispositivo neuromórfico bioinspirado. (Yu et al., 2022) <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2022.09.012>

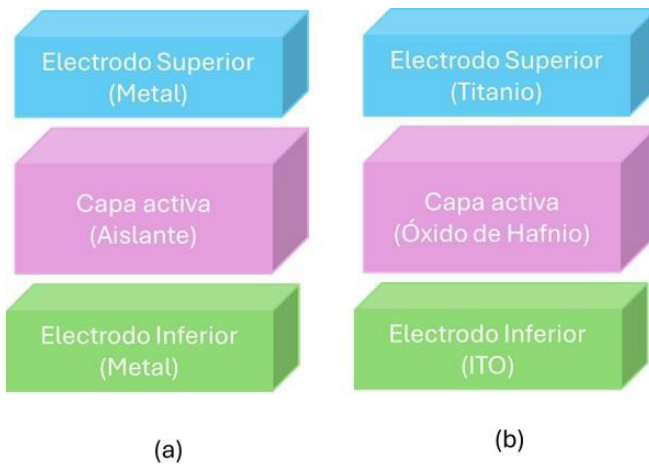


Figura 6. Representación esquemática de la estructura tradicional de un memristor (a) y ejemplo de la estructura memristor (b). Fuente propia.

Existe una gama de materiales que pueden ser usados para el desarrollo de dispositivos memristor como los haluros de perovskitas (Pérez-Martínez et al., 2024), , materiales en 2D como sulfuro de molibdeno (MoS_2), seleniuro de cobre (Cu_2Se), semiconductores como óxido de zinc (ZnO), óxido de titanio (TiO_2), óxido de níquel (NiO), materiales compuestos como óxido de galio dopado con estaño, óxido de aluminio dopado con hafnio, nanoestructuras de carbono como óxido de grafeno, nanotubos de carbono, ferroeléctricos como titanato de bario (BaTiO_3), nitruro de aluminio (AlN), materiales poliméricos como PEDOT:PPS, PMMA entre otros (Gou et al., 2024).

Considero que el área superficial específica es un factor crucial para el desarrollo de los dispositivos memristor, para la conmutación resistiva que es un fenómeno que se relaciona con la migración de iones o la formación de filamentos conductores, que están influenciados por la geometría y el área del dispositivo. Algunos materiales mencionados

anteriormente tienen un área superficial reducida. Por este motivo en este trabajo de investigación se propone al MCM-41 como un material para el desarrollo de dispositivos memristor. Debido a que el MCM-41 tiene una gran área superficial se podrían contar con varios sitios activos para alojar diferentes nanomateriales, por ejemplo, Bravo de Luciano G.M. et al. (Bravo de Luciano et al., 2024) reportó la incorporación de nanopartículas de óxido de hierro en el MCM-41 para el desarrollo de un capacitor MIS, permitiendo una adecuada migración de iones para el fenómeno de conmutación resistiva que está relacionado con los dispositivos neuromórficos. También, Panecatí-Bernal Y. et al. (Panecatí-Bernal et al., 2021) reportó el composite de MCM-41 con nanopartículas de ZnO con una estructura “wrikled”. La Figura 7 muestra una propuesta de una representación esquemática de la estructura del dispositivo memristor usando MCM-41 dopado con óxido de zinc como capa activa, plata como electrodo superior e ITO como electrodo inferior sobre un sustrato de PET.

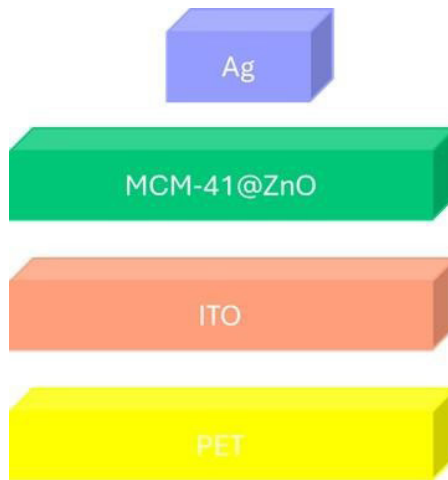


Figura 7. Representación esquemática de la estructura del dispositivo memristor usando MCM-41.

Fuente propia.

La gran área superficial que presenta el MCM-41 con los nanomateriales incorporados en su interior permitiría mejorar las propiedades resistivas de los dispositivos memristores, siendo esenciales estas propiedades para la sinapsis artificial en redes neuromórficas.

Otro factor importante es que la capa activa del

dispositivo memristor debe de presentar un comportamiento resistivo el MCM-41 es un material aislante y un buen candidato de material resistivo, cumpliendo esta condición. Y podría ser mejorada esta propiedad con la incorporación de nanopartículas semiconductoras como TiO_2 , ZnO , HfO_2 en superficie del material mesoporoso MCM-41.

Láseres

Un láser es un dispositivo que emite luz coherente mediante un proceso de amplificación óptica basado en la emisión estimulada de radiación electromagnética (Bakhtari et al., 2024). Los láseres en el área de internet de las cosas están relacionados con varias aplicaciones como sensores para vehículos autónomos, drones inteligentes, sistemas de seguridad, agricultura de precisión; comunicación óptica en redes IoT de alta velocidad que permiten la transmisión de datos por fibra óptica, fabricación de microcomponentes para chips, diagnóstico y monitoreo (Manie et al., 2022) ver Figura 8.

Los materiales que se usan para la fabricación de láseres con aplicaciones en IoT son nanopartículas semiconductoras como óxido de titanio (TiO_2), seleniuro de galio (GaSe) o metálicas como nanopartículas bimetálicas de oro y plata materiales en 2D como el grafeno o sulfuro de molibdeno (MoS_2), entre otros. También han usado nanocomposites de nanopartículas metálicas con semiconductoras como óxido de titanio dopado con paladio (Pd/TiO_2), sulfuro de molibdeno dopado con plata (Ag/MoS_2) entre otros (Manshina et al., 2024).

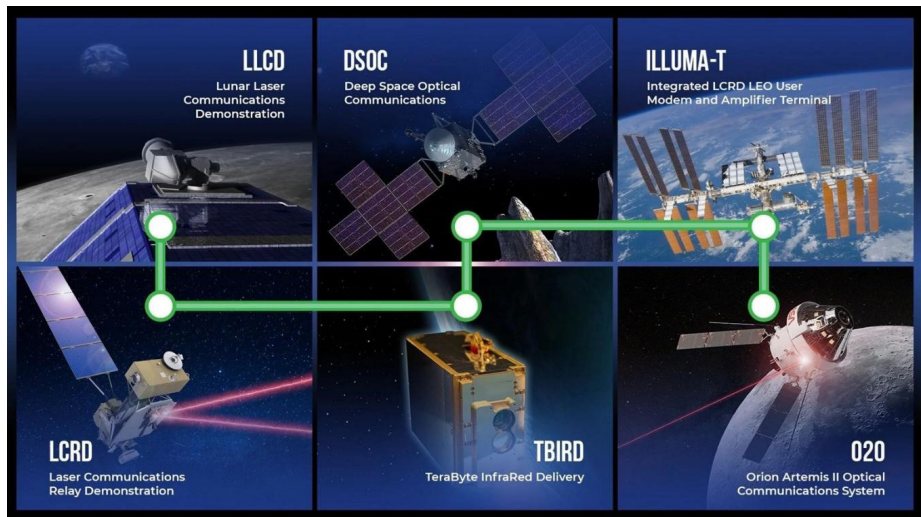


Figura 8. Aplicación de láser en comunicación espacial. De Here's how NASA will test space internet with lasers on ISS, por Rizwan Choudhury, 2023, sitio web de Interesting Engineering (Here's how NASA will test space internet with lasers on ISS) Copyright 2023 por Interesting Engineering.

El material mesoporoso MCM-41 puede servir como soporte para colorantes láser, debido a que permite alojar materiales orgánicos como rodamina o cumarina, estabilizando los colorantes y evitando su degradación térmica. También se pueden incorporar tierras raras como erbio o neodimio para el desarrollo de láseres. Además, es posible incorporar nanopartículas semiconductoras dopadas con metales como Pd/TiO₂. Una ventaja de incorporar los nanomateriales en el MCM-41 es la posibilidad de modificar su comportamiento de emisión para que emitan en diferentes longitudes de onda (Z. Chen et al., 2023).

Integración en la educación Científico-Tecnológica

El presente trabajo menciona la importancia de la aplicación del material mesoporoso MCM-41 en diferentes aplicaciones en el área de tecnologías de la información e innovación digital que están relacionadas con el internet de las cosas (IoT) para el desarrollo de diferentes dispositivos como son: sensores, capacitores MOS, dispositivos neuromórficos. Basado en esto se pueden desarrollar diferentes proyectos de dispositivos innovadores basados en MCM-41 donde se puedan involucrar los conocimientos de diferentes disciplinas STEM como física, química,

matemáticas, electrónica, ciencia de datos, lenguajes de programación básicamente, así como materias relacionadas con IoT donde se pueden involucrar diferentes estudiantes para fomentar el aprendizaje activo en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas.

Impacto educativo y social.

El impacto educativo que presenta este proyecto es que promueve el aprendizaje activo en áreas STEM, debido a que se pueden desarrollar diferentes proyectos educativos mediante el uso del material MCM-41 para crear dispositivos innovadores con aplicaciones en el internet de las cosas, fomentando tanto la educación tecnológica como la investigación científica.

El impacto social de este proyecto es que el desarrollo de estos proyectos educativos puede ser aplicados en la sociedad en el futuro a través de las aplicaciones de los dispositivos desarrollados en el área de internet de las cosas. También se tendría una contribución a la comunidad científica abriendo nuevas posibilidades del desarrollo de dispositivos relacionados con el internet de las cosas más eficientes. Considerando que el material MCM-41 no ha sido explorado en esta área.

Conclusiones

De acuerdo con el panorama presentado en este trabajo, podemos concluir que el material mesoporoso MCM-41 presenta un gran potencial para el desarrollo de nuevos dispositivos debido a sus propiedades peculiares. Entre las aplicaciones destacan sensores, capacitores MOS y dispositivos

neuromórficos, con perspectivas futuras en el Internet de las Cosas y la promoción del aprendizaje activo STEM en la comunidad escolar. Al mismo tiempo, se abren nuevas oportunidades para el desarrollo de dispositivos innovadores que contribuyen al avance de la comunidad científica.

Declaración de privacidad

Los datos personales facilitados por los autores a RD-ICUAP se usarán exclusivamente para los fines declarados por la misma, no estando disponibles para ningún otro propósito ni proporcionados a terceros.

Declaración de no Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés alguno.

Descargo de Responsabilidad (Inteligencia Artificial)

Los autores declaran por la presente que NO se han utilizado tecnologías de IA generativa, tales como modelos de lenguaje grandes (ChatGPT, COPILOT, etc.) y generadores de texto a imagen, durante la redacción o edición de este manuscrito.

Los autores se descargan de responsabilidad (INTELIGENCIA ARTIFICIAL).

Agradecimientos

Yesmin Panecatí-Bernal agradece a los coautores de la Universidad Tecnológica de Tecamachalco y Benemérita Universidad Autónoma de Puebla por sus valiosas aportaciones y colaboración para la realización de este trabajo.

Referencias

- Agudo Cortés, C., Morales Castro, Arturo., & Orduña Trujillo, J. (2024). Las TIC en la Era Digital - 1ra Edición. (1st ed.). Ecoe Ediciones México.
- Anjankar, S. C., & Dhavse, R. (2024). Design and Optimization of MOS Capacitor based Radiation Sensor for Space Applications. *Arabian Journal for Science and Engineering* (2011), 49(5), 7013–7028. <https://doi.org/10.1007/s13369-023-08673-0>
- Bakhtari, A. R., Sezer, H. K., Canyurt, O. E., Eren, O., Shah, M., & Marimuthu, S. (2024). A Review on Laser Beam Shaping Application in Laser-Powder Bed Fusion. In *Advanced Engineering Materials* (Vol. 26, Number 14). <https://doi.org/10.1002/adem.202302013>
- Bernal, Y. P., Alvarado, J., Juárez, R. L., Méndez Rojas, M. Á., de Vasconcelos, E. A., de Azevedo, W. M., Iniesta, S. A., & Cab, J. V. (2019). Synthesis and characterization of MCM-41 powder and its deposition by spin-coating. *Optik (Stuttgart)*, 185, 429–440. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2019.03.117>
- Bernal, Y. P., Juárez, R. L., De Vasconcelos, E. A., Da Silva, E. F., & De Azevedo, W. M. (2015). Metal-insulator-semiconductor capacitors with water-containing hexagonal mesoporous silica (MCM-41) dielectric and high values of capacitance per unit area. *Semiconductor Science and Technology*, 30(4). <https://doi.org/10.1088/0268-1242/30/4/045003>
- Bravo de Luciano, G. M., Soto-Cruz, B. S., Romero-López, A., Panecatí-Bernal, Y., Luna-López, J. A., & Domínguez-Jiménez, M. Á. (2024). Influence of *Baccharis salicifolia* Extract on Iron Oxide Nanoparticles in MCM-41@IONP and Its Application in Room-Temperature-Fabricated Metal-Insulator-Semiconductor Diodes. *Applied Nano*, 5(2). <https://doi.org/10.3390/appNano5020006>
- Bravo de Luciano, G., Panecatí-Bernal, Y., Soto-Cruz, B., Méndez-Rojas, M. Á., López-Salazar, P., Alcántara-Iniesta, S., Portillo, M. C., Romero-López, A., Mejía-Silva, J., Alvarado, J., & Domínguez-Jiménez, M. Á. (2022). Controlling Size Distribution of Silver Nanoparticles using Natural Reducing Agents in MCM-41@Ag. *ChemistrySelect (Weinheim)*, 7(43), n/a. <https://doi.org/10.1002/slct.20202566>
- Brida, P., Krejcar, O., Selamat, A., & Kertesz, A. (2021). Smart sensor technologies for IoT. In *Sensors* (Vol. 21, Number 17). <https://doi.org/10.3390/s21175890>
- Cao, T., Shen, C., Wang, D., Zhao, H., Tan, R., Zhou, Z., Li, H., Li, B., Zhao, M., & Huang, H. W. (2025). Emerging memory devices for neuromorphic computing in the Internet of Medical Things. In *Cell Reports Physical Science* (Vol. 6, Number 8). <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2025.102735>
- Chen, S., Zhang, T., Tappertzhofen, S., Yang, Y., & Valov, I. (2023). Electrochemical-Memristor-Based Artificial Neurons and Synapses—Fundamentals, Applications, and Challenges. In *Advanced Materials* (Vol. 35, Number 37). <https://doi.org/10.1002/adma.202301924>
- Chen, Z., Wang, Q., He, Z., Li, J., Mei, E., Liang, X., & Xiang, W. (2023). Controlling and optimizing amplified spontaneous emission based on CsPbBr₃@MCM-41 molecular sieve composite. *Journal of Luminescence*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2022.119411>
- Cheng, H. C., Chen, Po Han, Su, Y. T., & Chen, Po Hung. (2021). A Reconfigurable Capacitive Power Converter with Capacitance Redistribution for Indoor Light-Powered Batteryless Internet-of-Things Devices. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 56(10). <https://doi.org/10.1109/JSSC.2021.3075217>
- De Queiros Souza, G. E., de Andrade Schaffner, R., do Nascimento, C. T., Beraldi Gomes, C. M., Oliveira, L. G., Cerutti, D. L., Freddo, A.,

- Martínez, D. G., & Alves, H. J. (2025). Evaluation of reaction conditions in the dry reforming process using a Ni/MCM-41 catalyst for syngas production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 158, 150503. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2025.150503>
- Gou, K. Y., Li, Y. R., Song, H. L., Lu, R., & Jiang, J. (2024). Optimization strategy of the emerging memristors: From material preparation to device applications. *In iScience* (Vol. 27, Number 12). <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.111327>
- Habeche, F., Hachemaoui, M., Mokhtar, A., Chikh, K., Benali, F., Mekki, A., Zaoui, F., Cherifi, Z., & Boukoussa, B. (2020). Recent Advances on the Preparation and Catalytic Applications of Metal Complexes Supported-Mesoporous Silica MCM-41 (Review). *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30(11), 4245–4268. <https://doi.org/10.1007/s10904-020-01689-1>
- Hou, X., Luo, R., Liu, Q., Chi, Y., Zhang, J., Ma, H., Zhang, Q., & Fan, J. (2024). High-temperature time-dependent dielectric breakdown of 4H-SiC MOS capacitors. *Case Studies in Thermal Engineering*, 63. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.105371>
- Ju, M., Dou, Z., Li, J. W., Qiu, X., Shen, B., Zhang, D., Yao, F. Z., Gong, W., & Wang, K. (2023). Piezoelectric Materials and Sensors for Structural Health Monitoring: Fundamental Aspects, Current Status, and Future Perspectives. In *Sensors* (Vol. 23, Number 1). <https://doi.org/10.3390/s23010543>
- Kim, T., Lee, D., Chae, M., Kim, K. H., & Kim, H. D. (2024). Enhancing the Resistive Switching Properties of Transparent HfO₂-Based Memristor Devices for Reliable Gasistor Applications. *Sensors*, 24(19). <https://doi.org/10.3390/s24196382>
- Lanza, M., Pazos, S., Aguirre, F., Sebastian, A., Le Gallo, M., Alam, S. M., Ikegawa, S., Yang, J. J., Vianello, E., Chang, M. F., Molas, G., Naveh, I., Ielmini, D., Liu, M., & Roldan, J. B. (2025). The growing memristor industry. *Nature*, 640(8059). <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08733-5>
- Manie, Y. C., Yao, C. K., Yeh, T. Y., Teng, Y. C., & Peng, P. C. (2022). Laser-Based Optical Wireless Communications for Internet of Things (IoT) Application. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(23). <https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3190619>
- Manshina, A. A., Tumkin, I. I., Khairullina, E. M., Mizoshiri, M., Ostendorf, A., Kulinich, S. A., Makarov, S., Kuchmizhak, A. A., & Gurevich, E. L. (2024). The Second Laser Revolution in Chemistry: Emerging Laser Technologies for Precise Fabrication of Multifunctional Nanomaterials and Nanostructures. *Advanced Functional Materials*, 34(40), 2405457. <https://doi.org/10.1002/adfm.202405457>
- Martínez-Edo, G., Balmori, A., Pontón, I., Martí del Río, A., & Sánchez-García, D. (2018). Functionalized Ordered Mesoporous Silicas (MCM-41): Synthesis and Applications in Catalysis. *Catalysts*, 8(12), 617. <https://doi.org/10.3390/catal8120617>
- Omar, E., Aly, H., & Fedawy, M. (2023). A Brief introduction to Memristor Device. *International Journal of Advanced Engineering and Business Sciences*, 4(2). <https://doi.org/10.21608/ijaeb.2023.172239.1067>
- Panecatl-Bernal, Y., Alvarado, J., Ortiz-Medina, J., Fuentesilla-Carcamo, I., Lima-Juárez, R., Granada-Ramírez, D. A., Chávez-Portillo, M., Esquina-Arenas, L., Hernández-Corona, S., Alpes de Vasconcelos, E., Mendes de Azevedo, W., Méndez-Rojas, M. Á., Palomino-Ovando, M. A., & Navarro-Morales, E. (2023). Physical and Chemical Interactions of the Polar and Nonpolar Solvents on the Mesoporous Silica Material to Developing Solvent Sensors. *ChemistrySelect*, 8(12). <https://doi.org/10.1002/slct.202204636>
- Panecatl-Bernal, Y., Juárez, R. L., De Vasconcelos, E. A., Chávez Portillo, M., De Azevedo, W. M., Méndez-Rojas, M., ngel, Garrido-Rosado, R., Villanueva-Cab, J., Iniesta, S. A., & Alvarado, J. (2021). A wrinkled

- ZnO/MCM-41 nanocomposite: Hydrothermal synthesis and characterization. *Materials Research Express*, 8(6). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ac0c50>
- Pérez-Martínez, J. C., Martín-Martín, D., Arredondo, B., & Romero, B. (2024). Unraveling Conductive Filament Formation in High Performance Halide Perovskite Memristor. *Advanced Electronic Materials*, 10(9). <https://doi.org/10.1002/aelm.202400067>
- Russo, N., Reis, L., Silveira, C., & Mamede, H. S. (2024). Towards a Comprehensive Framework for the Multidisciplinary Evaluation of Organizational Maturity on Business Continuity Program Management: A Systematic Literature Review. *Information Security Journal*, ahead-of-print(ahead-of-print), 1–19. <https://doi.org/10.1080/19393555.2023.2195577>
- Storey, V. C., Yue, W. T., Zhao, J. L., & Lukyanenko, R. (2025). Generative Artificial Intelligence: Evolving Technology, Growing Societal Impact, and Opportunities for Information Systems Research. *Information Systems Frontiers*, 27(5), 2081–2102. <https://doi.org/10.1007/s10796-025-10581-7>
- Swathi, S. P., & Angappane, S. (2022). Enhanced resistive switching performance of hafnium oxide-based devices: Effects of growth and annealing temperatures. *Journal of Alloys and Compounds*, 913. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2022.165251>
- Torres Manrique, J. Isaac., & Torres Manrique, J. Isaac. (2024). *Evolución y Futuro de Las Tecnologías de la Información y Comunicación*. (1st ed.). J.M. Bosch Editor.
- Yu, J., Wang, Y., Qin, S., Gao, G., Xu, C., Lin Wang, Z., & Sun, Q. (2022). Bioinspired interactive neuromorphic devices. *Materials Today*, 60, 158–182. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2022.09.012>
- Zong, M., Hekmati, A., Guastalla, M., Li, Y., & Krishnamachari, B. (2025). Integrating large language models with internet of things: applications. *Discover Internet of Things*, 5(1), 2–15. <https://doi.org/10.1007/s43926-024-00083-4>