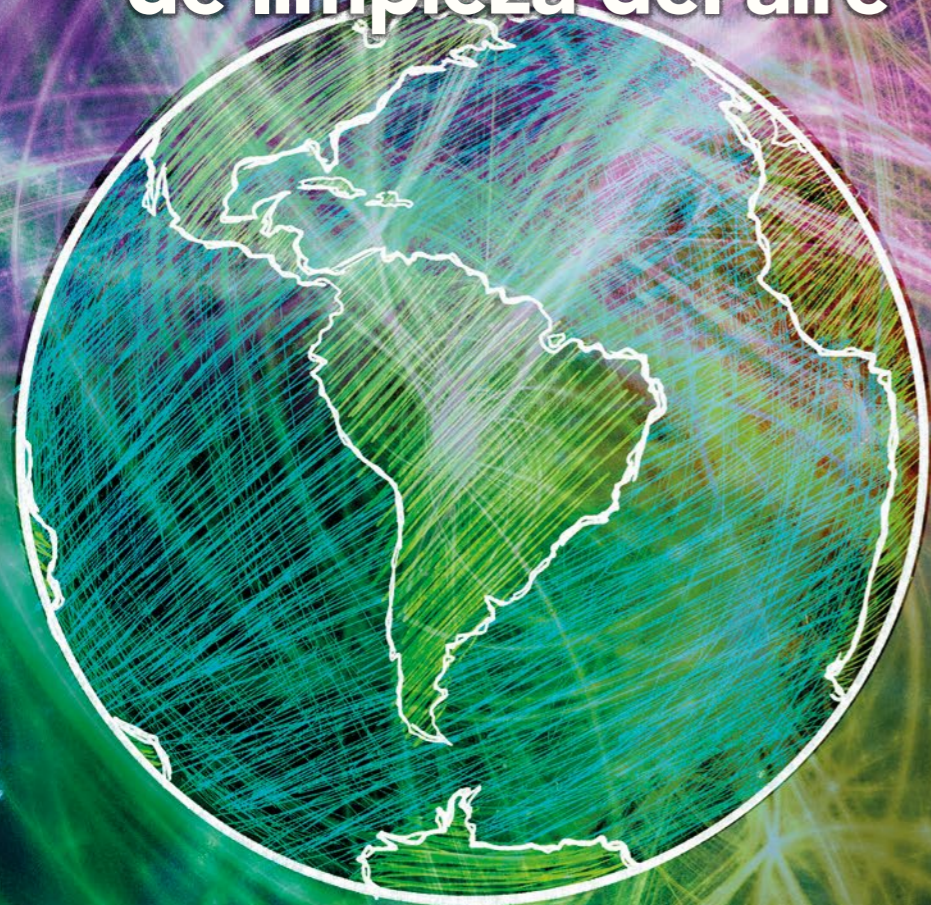


¿Campos magnéticos? Una propuesta innovadora para mejorar los procesos biológicos de limpieza del aire



Mónica Cortés-Castillo*, Armando Encinas-Oropesa*, Sonia Lorena Arriaga-García*

<https://doi.org/10.29105/cienciauanl27.126.1>

* Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica,
San Luis Potosí, México.
Contacto: sonia@ipicyt.edu.mx

CAMPO MAGNÉTICO, GENERACIÓN Y SUS APLICACIONES

Un campo magnético (CM) es una región en donde se ejerce una fuerza de atracción o repulsión generada por un imán o por una bobina, los primeros se fabrican con tierras raras (neodimio y boro) o hexaferritas. Las bobinas, por su parte, están constituidas por un alambre conductor enrollado, por el cual debe circular una corriente eléctrica para crearlo. Nuestro planeta podría ser considerada el imán más grande derivado del CM que posee (0.25-0.65 Gauss), el cual es originado por el núcleo sólido y una zona rica en metales (hierro y níquel), en donde la fricción de partículas propicia el campo magnético, que al igual que cualquier otro, consta de dos polos: el norte y el sur.

El CM terrestre es muy importante, permite que la vida como la conocemos se desarrolle. Por ejemplo, nos sirve de protección contra la radiación proveniente del espacio, principalmente del Sol, además es aprovechado por algunos animales (mariposas monarcas, tortugas o aves) durante su fase de migración (figura 1).

El CM terrestre no es el único con grandes aplicaciones, en general, los campos magnéticos tienen empleo en la vida diaria, por ejemplo, en telecomunicaciones los podemos encontrar en las líneas de media y alta tensión, en transformadores eléctricos, en electrodomésticos (microondas, licuadoras, refrigeradores, computadoras, televisiones) y antenas de radiofrecuencia. Son importantes porque se utilizan en los sistemas de navegación, también se les puede usar en Medicina, Física y Astrofísica, así como en la ingeniería, Química, Ciencias de la Tierra y de los materiales, entre muchas más disciplinas. El área que vamos a tratar en este artículo se enfoca en el uso de CM en tecnologías de biorremediación, en la producción de bioenergía, en el tratamiento de agua residual y específicamente en la biorremediación de contaminantes del aire.

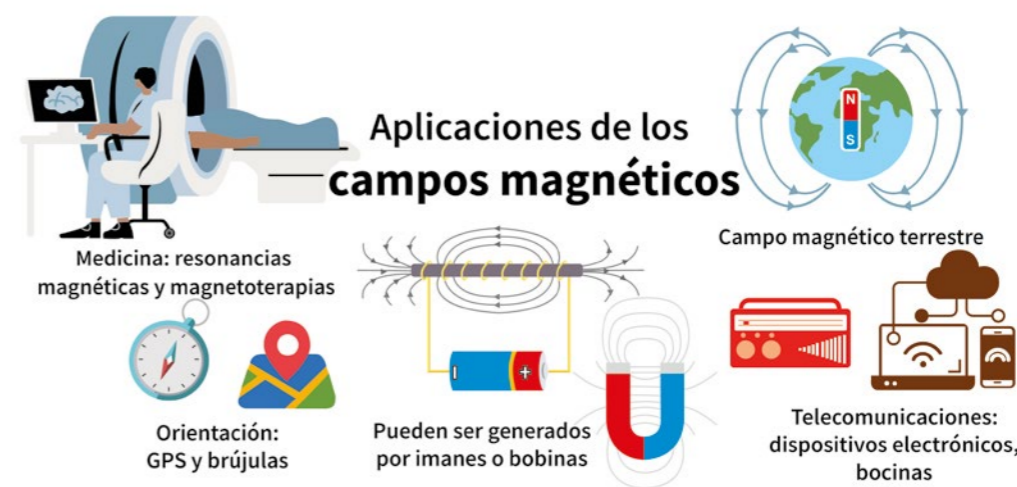


Figura 1. Campo magnético y sus aplicaciones.

La biotecnología es una interdisciplina que se enfoca en el uso de organismos vivos (células, bacterias y hongos, enzimas, etcétera), acoplados a tecnologías o métodos para resolver problemas de contaminación, producir compuestos o bienes de interés. Los campos magnéticos en biorremediación surgieron recientemente a manera de estrategia que busca estimular las actividades de los microorganismos y favorecer la eliminación de contaminantes en aire y agua o bien mejorar la generación de bioenergía. Tal es el caso del biohidrógeno (Arriaga *et al.*, 2023), o la obtención de biogás a partir de residuos orgánicos (Liu *et al.*, 2023). La exposición a CM de procesos biológicos de tratamiento de líquido se ha usado en el saneamiento de agua residual, la remoción de metales y de colorantes (Wang *et al.*, 2021). En investigaciones en suelos se han usado en la estimulación y crecimiento de plantas (Carbonell *et al.*, 2017) y remoción de contaminantes metálicos (Quan *et al.*, 2018).

Si bien la mayoría de las investigaciones están enfocadas en el saneamiento de agua, también existen, aunque escasos, estudios sobre el uso en el tratamiento de contaminantes gaseosos por medio de desarrollos biológicos, específicamente en la biofiltración de gases contaminantes (Quan *et al.*, 2018).

Dentro de los mecanismos que desencadenan el uso de CM en procedimientos biológicos (figura 2) está el incremento de la actividad enzimática, la aceleración de los procesos metabólicos, el aumento en las tasas de crecimiento microbianas y en la transferencia de masa de gases, por ejemplo, el oxígeno a las células microbianas, facilitando la respiración aeróbica. Estos campos también afectan la permeabilidad de las membranas celulares microbianas, lo que favorece el transporte de nutrientes, aumentando la producción de ATP y la actividad celular, todo esto contribuye a eficientizar la remoción de los contaminantes (Chen *et al.*, 2024).

Los CM ayudan a aumentar el crecimiento y selección de microorganismos específicos, permitiendo que sólo aquellos mejor adaptados crezcan y nos den más resultados (figura 2). Si bien la exposición de los microorganismos a CM puede ejercer influencia en su comportamiento, este efecto depende de muchos factores: el tipo (estático o variante en el tiempo) y la magnitud del campo magnético, las especies (bacteria u hongos), la temperatura, la duración de la exposición (minutos, horas, días) y los medios de cultivo (sales y minerales), entre otros.

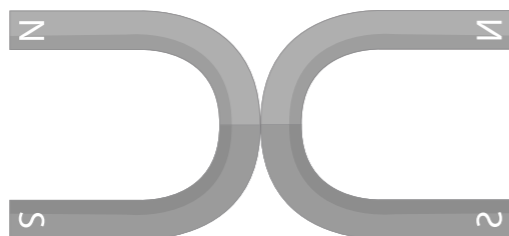


Figura 2. Rol de los CM en procesos de biorremediación.

ACOPLAMIENTO DE UN PROCESO DE BIOFILTRACIÓN DE AIRE CON CAMPOS MAGNÉTICOS

La biofiltración es un tipo de biorremediación basada en el paso de una corriente de aire contaminado a través de un reactor que contiene microorganismos inmovilizados en un soporte poroso, éstos emplean los contaminantes como fuente de carbono y energía y lo transforman en dióxido de carbono y agua.

Podemos encontrar los contaminantes gaseosos en ambientes interiores y exteriores, se originan por una amplia gama de fuentes de emisión que incluyen industrias (petroquímica, alimentaria, textil), transporte, agricultura, productos de limpieza, entre otras. En IPICYT actualmente estamos estudiando los procedimientos de biotratamiento de aire con estimulación por campos magnéticos de baja intensidad suscitados por imanes y bobinas Helmholtz. Si bien la biofiltración de tolueno, hexano, acetato de etilo, metanol, entre otros ya se ha estudiado, el objetivo principal del proyecto es conocer el efecto del campo magnético en la estimulación de la actividad microbiana para mejorar el proceso de biodegradación de contaminantes gaseosos (acetato de etilo, como modelo), además de medir el efecto de parámetros: crecimiento de biomasa y contenido de exopolisacáridos (EPS), cuya función es formar y mantener la estructura de la biopelícula, además de promover la transferencia de electrones y degradación de contaminantes.



En la realización de este innovador proyecto se compararon tres sistemas de biofiltración idénticos con un volumen efectivo total de 1.1 L denominados R₀, R₁₀ y R₃₀. R₀ fue el reactor control sin exposición al campo magnético; R₁₀ se expuso a una densidad de flujo magnético de 10 militesla (mT) y R₃₀ a 30 mT. En el interior de los reactores se colocó perlita y lodo activado proveniente de una planta tratadora de aguas residuales ubicada en la ciudad de San Luis Potosí. Los biofiltros fueron alimentados con vapores de acetato de etilo y medio mineral con el objetivo de mantener las condiciones favorables para los microorganismos presentes encargados de realizar la biodegradación del contaminante gaseoso. El experimento completo se llevó a cabo durante un periodo de 97 días dividido en tres etapas: la primera correspondió a una carga de entrada (IL) de 120 g m⁻³ h⁻¹ seguida de 180 g m⁻³ h⁻¹ y concluyó con una IL de 220 g m⁻³ h⁻¹. Durante el periodo de operación se empleó un equipo de cromatografía de gases que determinó las concentraciones de acetato de etilo.

En el análisis de contenido de biomasa y sólidos suspendidos volátiles se usó el método de peso seco estándar. Por último, para conocer la cantidad de contenido celular se extrajeron los exopolisacáridos en donde se tomó 1 g de muestra con perlita y biomasa (Liu y Fang, 2002), posteriormente fueron sonicadas por 7.5 min, seguido de centrifugación en frío a 4 °C por 20 min. Se continuó con la filtración con una membrana de diálisis y por último con la liofilización por 36 horas a fin de determinar el contenido celular en peso (mg EPS g⁻¹ de perlita).

El campo magnético fue generado mediante dos pares de bobinas en configuración Helmholtz, las cuales, al poseer las mismas dimensiones y estar separadas a una distancia igual al radio de éstas, ocasionan un CM homogéneo (Ramsden, 2011). En la medición de la intensidad del CM se utilizó un aparato especial llamado Teslámetro HT20. Al término de la investigación se demostró (tabla I) que la eficiencia de remoción (ER) y la capacidad de eliminación (CE) fueron ligeramente mayores en aquellos reactores expuestos a CM que en el control sin exposición a éste.

El reactor control sin exposición a CM (R₀) alcanzó el menor contenido de biomasa (tabla II) y fue el que presentó las tasas más bajas de remoción de contaminantes, que se asocia directamente con la mínima cantidad de biomasa encontrada en el mismo para la biodegradación de acetato de etilo. Por el contrario, los reactores sujetos a campos magnéticos (R₁₀ y R₃₀) presentaron mayores concentraciones de bio-

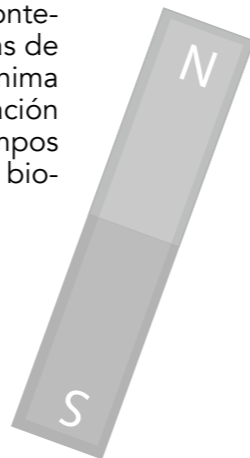
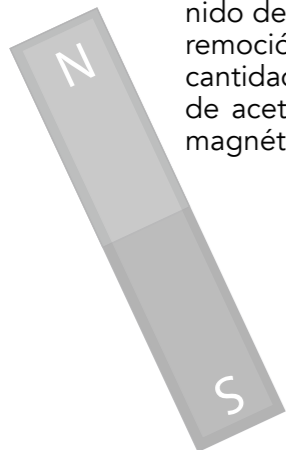


Tabla I. Capacidad de eliminación, eficiencia de remoción por etapas para cada reactor. E1, corresponde a IL de 120 g m³ h⁻¹; E2 a IL 180 g m³ h⁻¹ y E3 a IL de 220 g m³ h⁻¹.

Etapa	CE, g m ³ h ⁻¹			ER, %		
	R0	R10	R30	R0	R10	R30
E1	112.2±7.6	109.8±7.8	111.7±4.2	97.1±2.8	98.6±1.07	98.8±0.78
E2	153.07±1.7	169.03±8.3	157.68±1.3	91.7±1	96.3±3.2	90.2±5.8
E3	203.2±6.8	204±1.1	203.6±1.2	95.4±2.7	95.06±2.1	93.9±3.1

masa. Por lo que se concluye que el CM estimula el crecimiento celular según se ha reportado en estudios previos al utilizar CM (Ludek, Vladimir y Jan 2002). La producción de EPS más alta se obtuvo en R₃₀ expuesto a 30 mT, por lo que, a mayor intensidad de CM, mayor producción de EPS.

Tabla II. Valores de biomasa y contenido celular por biofiltro.

Reactor	Biomasa, gVS g ⁻¹ perlita	Contenido celular, mg EPS g ⁻¹ perlita
R ₀	360.8	17.6
R ₁₀	436.4	17.8
R ₃₀	497.7	31

CONCLUSIONES

La exposición al campo magnético en R₁₀ y R₃₀ generado por las bobinas Helmholtz estimuló a los microorganismos a consumir mejores cantidades de vapores de acetato de etilo obteniendo mayores eficiencias de remoción, capacidades de eliminación y aumento en la producción de biomasa. El rendimiento fue el siguiente: 30 mT > 10 mT > 0 mT.

Aunque el R₁₀ tiene mejores tasas de ER y EC, el R₃₀ fue el biorreactor que obtuvo mayor producción de EPS de 31 mg g⁻¹ de perlita y una significativa cuantificación de biomasa con 497.7 g VS g⁻¹ perlita seca, logrando que la exposición al campo magnético promueva varios pasos metabólicos de los microorganismos presentes en la degradación del gas contaminante. El aumento en la producción de EPS debido a la exposición de campo magnético obtenido en este estudio puede extrapolarse a procesos biológicos cuyo interés principal es la producción de biopolímeros a partir de la valorización de emisiones como la de acetato de etilo comúnmente encontrada en la industria de fabricación de pinturas (adhesivos y recubrimientos), en la industria farmacéutica, cosmética, y en la síntesis de polímeros biodegradables y sostenibles.

Además, de manera general aprendimos qué son los campos magnéticos, cómo se generan, en qué aplicaciones los encontramos, pero lo más importante es que, aunque no podemos verlos, todos los días los utilizamos y ahora estamos conscientes de su importancia.

INVESTIGACIÓN EN EL IPICYT

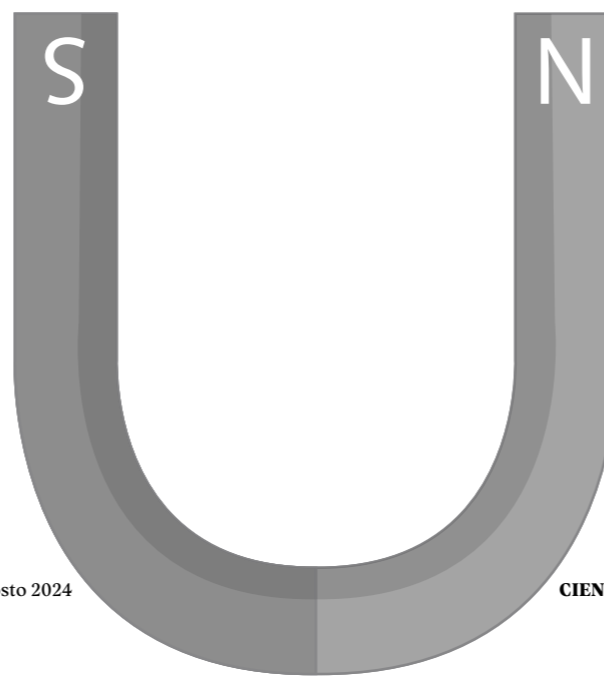
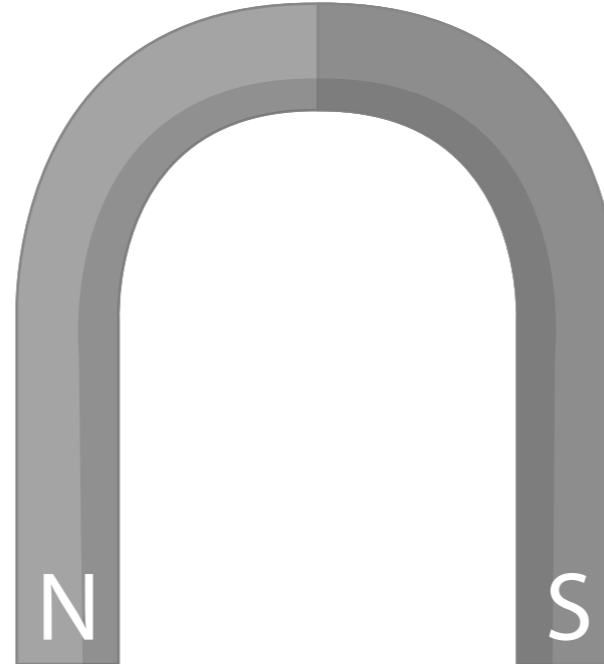
En el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT), ubicado en la ciudad de San Luis Potosí, el grupo de trabajo de la doctora Sonia Arriaga, en conjunto con el doctor Armando Encinas y estudiantes, investigan el efecto del CM en fases de biodegradación de contaminantes del aire.

Si bien el proceso de biofiltración se utiliza para la biodegradación de contaminantes gaseosos, posee desventajas cuando se tratan contaminantes recalcitrantes o hidrofóbicos, el acoplamiento de campos magnéticos a los procesos de biofiltración aumenta el desempeño del tratamiento. Actualmente se realiza la investigación del efecto de CM para la biofiltración de vapores de acetato de etilo y hexano, en las cuales se han medido varios parámetros de respuesta: concentración de biomasa, viabilidad, coeficientes de partición, composición de la comunidad microbiana, entre otros.

REFERENCIAS

Arriaga, Sonia, Carboni, María Federica, y Lens, Piet N.L. (2023). Effect of Static Magnetic Field Exposure on Biohydrogen Production via Dark Fermentation of Glucose, *Process Safety and Environmental Protection*, 176:375-88, Doi: 10.1016/j.psep.2023.06.022

Buchachenko, A.L. (2024). Enzymatic ATP Synthesis under Magnetic Control, in *Magnetic Effects Across Biochemistry, Molecular Biology and Environmental Chemistry*, Elsevier, 57-67.



Carbonell, María Victoria, Flórez, Mercedes, Martínez, Elvira, *et al.* (2017). Aportaciones sobre el campo magnético: historia e influencia en sistemas biológicos, *Intropica*, Doi: 10.21676/23897864.2282.

Chen, Sirui, Yamei, Jin, Na, Yang, Liwen, Wei, *et al.* (2024). Improving Microbial Production of Value-Added Products through the Intervention of Magnetic Fields, *Bioresource Technology*, 393.

Liu, Hong, y Fang, Herbert H.P. (2002). Extraction of Extracellular Polymeric Substances (EPS) of Sludges, *Journal of Biotechnology*, 95(3):249-56, Doi: 10.1016/S0168-1656(02)00025-1

Liu, Lijianan, Sining, Yun, Kaijun, Wang, Teng, Ke, *et al.* (2023). Enhanced Anaerobic Co-Digestion under a Magnetic Field by a Synergistic Host-Guest Strategy: Focusing on Accelerant, Biogas Yield, Fertilization and Coupled Effect, *Chemical Engineering Journal*, 476, Doi: 10.1016/j.cej.2023.146508

Ludek, Strásák, Vetterl, Vladimír, y Smarda, Jan. (2002). Effects of Low-Frequency Magnetic Fields on Bacteria Escherichia Coli, *Bioelectrochemistry*, 161-64.

Qu, Maomao, Jiamei, Chen, Qiquan, Huang, Jinliang, Chen, *et al.* (2018). Bioremediation of Hexavalent Chromium Contaminated Soil by a Bioleaching System with Weak Magnetic Fields, *International Biodeterioration and Biodegradation*, 128:41-47, Doi: 10.1016/j.ibiod.2016.08.022

Quan, Yue, Hao, Wu, Chunyu, Guo, Yu, Han, *et al.* (2018). Enhancement of TCE Removal by a Static Magnetic Field in a Fungal Biotrickling Filter, *Bioresource Technology*, 259:365-72, Doi: 10.1016/j.biortech.2018.03.031

Ramsden, E. (2011). *Hall-Effect Sensors: Theory and Application*, Newnes, Elsevier.

Wang, Yilin, Xin, Gu, Jianing, Quan, Guohua, Xing, *et al.* (2021). Application of Magnetic Fields to Wastewater Treatment and Its Mechanisms: A Review, *Science of The Total Environment*, 773:145476, Doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145476

Recibido: 04/12/2023
Aceptado: 15/04/2024

Descarga aquí nuestra versión digital.

