



Novedades científicas desde la Universidad Autónoma Metropolitana

Las profesoras y los profesores de la Universidad Autónoma Metropolitana llevan a cabo investigaciones de vanguardia e interdisciplinarias en muy diversos campos. En este artículo presentamos cinco diferentes proyectos en la frontera de sus respectivas disciplinas, los cuales contribuyen al desarrollo regional y nacional, además de su gran potencial para tener una contundente incidencia social.

En el presente artículo compartimos cinco investigaciones de vanguardia que se llevan a cabo en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) y que presentan alternativas con un impacto ambiental o social. Dos de estos proyectos fueron ganadores del Premio a la Investigación 2022 de nuestra institución.

Los primeros dos se han desarrollado para revertir algunos efectos negativos en el ambiente y la salud, ya que ayudan a remover metales pesados que son tóxicos para los humanos. El primero es un filtro, construido con materiales de bajo costo, que limpia la red de agua potable y que se ha probado en la alcaldía Iztapalapa. El segundo tiene como objetivo reducir los residuos minerales tóxicos en el entorno mediante una cobertura planta-hongo cuya simbiosis permite a la flora local absorber metales pesados; esto ha apoyado a la restauración ambiental en Zacatecas.

En tanto, otros dos proyectos que presentamos se basan en el análisis de las señales eléctricas extraídas mediante electrodos colocados en los organismos bajo observación. Por un lado, se aborda la respuesta de las plantas ante estímulos bióticos, cuya detección permitiría controlar dispositivos electrónicos. Por otro lado, se comparte un nuevo método de seguimiento fetal no intrusivo que posibilita discernir con claridad entre las señales cardíacas de la madre y del feto.

Por último, también con incidencia en el ámbito de la salud, se han hecho estudios de diferentes redes neuronales en el cerebro para encontrar marcadores biológicos tempranos que ayuden a detectar alteraciones cognitivas en la población.



Calidad del agua potable y remoción de contaminantes

Uno de los mayores problemas de salud pública en el mundo se deriva de la mala calidad del agua potable y la falta de recursos para su tratamiento efectivo. Con el



fin de satisfacer la alta demanda de la población, el agua se ha extraído de los mantos acuíferos localizados cada vez a mayores profundidades. Por ello es importante determinar la calidad del agua en aquellos sitios que han presentado graves problemas de contaminación y que pueden comprometer a largo plazo la salud de la población que la consume.

Una de estas zonas es Iztapalapa, en Ciudad de México, donde casi 75% del agua que recibe la población proviene de pozos. En esta alcaldía estudiamos la calidad del agua de extracción de 34 pozos y encontramos que, de entre los parámetros analizados, las concentraciones de hierro y manganeso demostraron ser un factor determinante para el aspecto del agua. Las concentraciones elevadas de ambos elementos se deben a la contaminación del acuífero por la extracción excesiva del recurso, así como a las actividades antropogénicas, también por la falta de mantenimiento para subsanar la corrosión y el daño en las tuberías, además de las afectaciones por el sismo de septiembre de 2017, que creó fracturas en los pozos de abastecimiento del agua. En nuestros resultados obtuvimos concentraciones de 0.02-2.36 mg/l para el hierro y de 0.3-1.3 mg/l para manganeso, cuyos valores son superiores a los límites máximos permitidos por la Norma Oficial Mexicana (NOM-127-SSA1-2021), que indica los valores de 0.3 mg/l para el hierro y 0.15 mg/l para el manganeso.

Remoción de hierro y manganeso con zeolitas

Una vez identificados los problemas de calidad del agua, es necesario buscar una forma económica de remover los contaminantes presentes. En particular, el uso de zeolitas es una opción de bajo costo: las propiedades físicas de estos minerales –compuestos por aluminio, silicio, sodio, calcio, magnesio, potasio y agua– les proveen aspectos únicos para una amplia variedad de aplicaciones prácticas, como ser materiales adsorbentes de metales pesados. Además, las zeolitas abundan en varios estados del país y presentan una buena eliminación de los iones disueltos en el agua.

En aplicaciones comerciales se han modificado las zeolitas con óxidos de manganeso para la adsorción del manganeso, que previamente debe ser oxi-

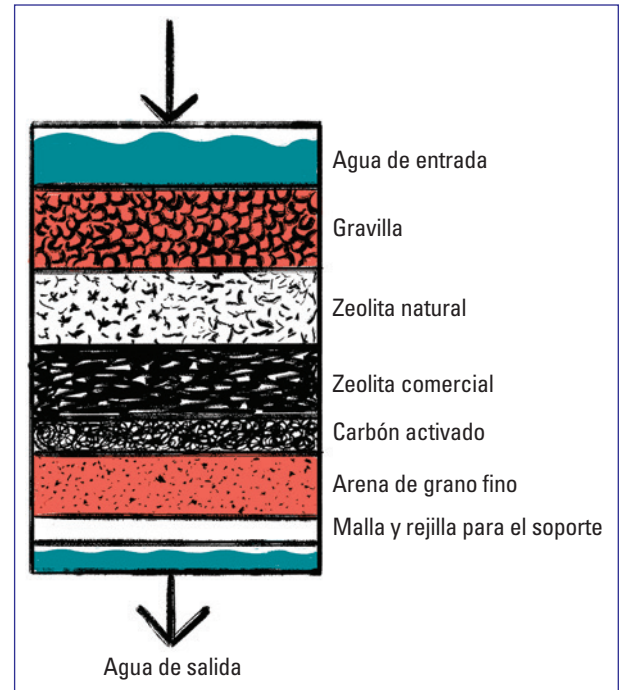


Figura 1. Diseño de un filtro para remover el hierro y manganeso del agua proveniente de pozos de la alcaldía Iztapalapa. Crédito: Diego de la Vega y Judith Cardoso Martínez.

dado con cloro. Para eliminar los contaminantes, diseñamos un filtro multicapas (véase la Figura 1) cuyo funcionamiento consistió en hacer pasar el agua a través de un lecho poroso de arena con diferentes tamaños de grano (gravilla); luego, una capa de zeolita natural que, debido a su mayor afinidad al hierro, lo removería en mayor cantidad; además de una capa de zeolita comercial recubierta con óxido de manganeso; a continuación, una capa de carbón activado para eliminar el color, el olor y modificar el pH a valores permitidos por la norma; por último, una capa de arena fina. Con el filtro propuesto se removió 92% del hierro y 75% del manganeso; en consecuencia, pudimos obtener agua de mejor calidad para uso doméstico.

Plantas y hongos para reducir el impacto de los residuos mineros tóxicos

La minería produce a diario millones de toneladas de residuos en forma de polvos y arenas que por lo general contienen elementos que son potencialmente tóxicos, tales como plomo, cadmio, zinc, cobre

y arsénico. Los residuos mineros, al ser depositados a cielo abierto, llegan hasta cuerpos de agua, suelos fértiles, la atmósfera, los ecosistemas, los cultivos agronómicos... y, en consecuencia, a todos los seres vivos. Asimismo, estos sustratos en general poseen una baja capacidad de retención de agua y son pobres en nutrimentos fundamentales para las plantas. Dado que México es un país eminentemente minero desde siglos atrás, en su territorio están presentes numerosos sitios con residuos acumulados en forma desordenada y expuestos a la intemperie (véase la Figura 2), por lo que la lluvia y el viento pueden transportar estos materiales tóxicos por grandes distancias.

La investigación que llevamos a cabo en la UAM reporta que hay diferentes especies vegetales con hongos asociados a sus raíces que habitan y toleran los residuos mineros, a pesar de las condiciones inhóspitas. Esta cobertura planta-hongo almacena los elementos potencialmente tóxicos dentro de sus cé-

lulas o los estabiliza en el ambiente edáfico (o de residuos mineros) gracias a moléculas liberadas, lo que frena la dispersión eólica e hídrica de los materiales y reduce el impacto negativo en el entorno inmediato y lejano. Asimismo, la actividad fisiológica de las plantas y hongos transforma a un ritmo paulatino las condiciones agrestes de los residuos en unas menos inhóspitas, además de que aumenta la diversidad y abundancia de organismos y mejora el funcionamiento de este “ambiente antrópico”.

Recientemente, se integró una colección de 61 hongos microscópicos, pioneros en residuos mineros contaminados con plomo, cadmio y arsénico en Zacatecas. Estos hongos interactúan con las raíces de las plantas, donde pueden desempeñar funciones importantes como la estimulación del crecimiento vegetal, la descomposición de la materia orgánica, el aporte de nutrimentos al ambiente y la acumulación celular de elementos potencialmente tóxicos. Además, ciertos hongos son productores relevantes de



Figura 2. Residuos mineros con presencia de elementos potencialmente tóxicos (cadmio, plomo y arsénico), cercanos a poblaciones humanas en los estados de Michoacán (izquierda y centro superior) y Zacatecas (inferior izquierda y derecha). Se aprecian áreas con cobertura vegetal y áreas sin vegetación. En un medio de cultivo (superior derecha) se aislaron algunos hongos microscópicos procedentes de la proximidad de las raíces. Crédito: Facundo Rivera-Becerril y Diego de la Vega.

metabolitos novedosos que se pueden emplear como compuestos antimicrobianos y herbicidas, según los hallazgos de este estudio. En suma, los hongos y las plantas son herramientas centrales para enfrentar uno de los problemas causados por la minería; en este sentido, nuestra investigación busca utilizarlos en procesos de restauración ambiental de residuos tóxicos, como ya hemos probado en Zacatecas.

■ Interfaces planta-computadora con biosensores

■ La fisiología de las plantas les permite identificar diversos estímulos, ya sean bióticos (herbívoros y patógenos) o abióticos (dióxido de carbono, oxígeno, ozono, temperatura, humedad relativa, nutrientes, salinidad, presión atmosférica, gravedad, sonidos, campos eléctricos y magnéticos, etc.), en un entorno dinámico. Éstos afectan el funcionamiento de las plantas de diferentes maneras y provocan respuestas inmediatas o por periodos más prolongados. En particular, es posible simular algunos estímulos bióticos, como cuando un herbívoro muerde una planta o cuando un polinizador se posa sobre una flor, mediante un estímulo mecánico, ya sea al tocar o al presionar la planta.

Algunas de las estructuras que ayudan a las plantas a identificar los estímulos mecánicos son los tricomas, el citoesqueleto y la tigmomorfogénesis. Los tricomas están en las hojas o en los tallos y son sensibles al movimiento de los insectos o al de la caída de la lluvia. Al tocar un tricoma, se genera una señal eléctrica, la cual se esparce por los tejidos vegetales. Otros sensores se encuentran en distintas partes de la célula y reaccionan dependiendo del impacto que sufren, ya sea sutil o fuerte. Se ha sugerido que, en caso de impactos sutiles, algunos elementos de la pared celular actúan como los sensores que primero perciben el estímulo, debido a su posición más externa en la célula. En caso de que haya un impacto relativamente fuerte que afecte a toda la célula, los filamentos que forman su esqueleto pueden actuar como sensores. Por otro lado, la tigmomorfogénesis se percibe como una respuesta lenta, tanto eléctrica como morfológica, a la perturbación mecánica.

En tanto, las plantas cuentan con mecanismos (como señales hidráulicas, químicas o eléctricas) pa-

ra producir una respuesta ante el estrés que les provocan los estímulos. En particular, una manera indirecta de estudiar dichas respuestas es medir las corrientes eléctricas. Estas señales pueden utilizarse para el monitoreo de la electroquímica atmosférica, lluvia ácida, pesticidas, luz y contaminantes, o bien como sensores de iluminación, tacto o proximidad.

En la UAM analizamos, caracterizamos e interpretamos las señales eléctricas de diferentes plantas bajo diversos estímulos con el objetivo de construir biosensores y dispositivos electrónicos, conocidos como interfaces planta-computadora (véase la Figura 3). Por ejemplo, hay plantas como la *Mimosa pudica* que, al ser tocadas, lanzan una corriente eléctrica muy característica que puede interpretarse como una señal de encendido o apagado; de esta manera, puede indicarle a un dispositivo que debe encender o apagar un foco, o bien abrir o cerrar una puerta, por mencionar algunos ejemplos de aplicación. Además, buscamos desarrollar distintos biosensores de bajo costo, por ejemplo, para construir dispositivos que nos alerten que una zona presenta altos índices de contaminación, y que también reaccionen ante las necesidades de la planta, como puede ser un sistema de riego automático que use la propia información de la planta.

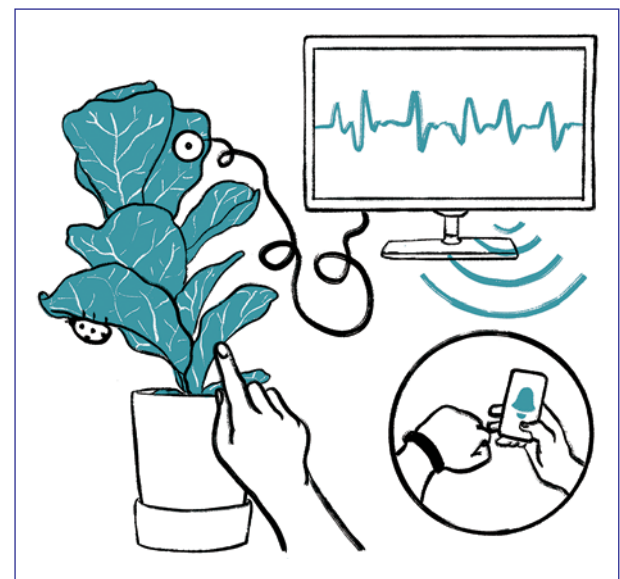


Figura 3. Interfaces planta-computadora: la diferencia de potencial detectada a partir de un estímulo táctil (por ejemplo, una plaga que afecta a una planta o una persona que la toca) puede ser interpretada para que un dispositivo electrónico (como un celular) lleve a cabo una instrucción. Crédito: Diego de la Vega y Montserrat Alvarado González.

■ Seguimiento fetal, ¿sin usar ultrasonido?

■ ¿Es posible inferir la información que aporta el estudio de ultrasonido durante el embarazo sin usar este tipo de equipo intrusivo? Entre otras cosas, el seguimiento fetal sirve para identificar la escasez de oxígeno sanguíneo en el feto, un factor que restringe su desarrollo y limita su capacidad para soportar el estrés del trabajo de parto. Para ello se utiliza un equipo de ultrasonido, que le permite al especialista obstetra estudiar las variaciones en la frecuencia cardíaca, la distribución del flujo sanguíneo y los movimientos fetales para, con ello, inferir el grado de desarrollo fetal (o bienestar) y, entonces, clasificar al embarazo como de bajo o alto riesgo.

Sin embargo, el mayor peligro del seguimiento hecho con ultrasonido es que la energía ultrasónica aplicada puede provocar un calentamiento y lesionar el tejido fetal. Como consecuencia, este estudio no puede realizarse con la frecuencia y la duración deseables para garantizar que puedan identificarse todos los factores que apunten a un problema de oxigenación. Quizás por eso no se ha logrado reducir significativamente el número de muertes fetales, incluso en países más desarrollados. No obstante, una alternativa que nos puede aportar esta información para el seguimiento fetal consiste en colocar unas placas metálicas (conocidas como electrodos) sobre el abdomen materno. También conocida como electrocardiografía abdominal, esta técnica trabaja sin aplicar energía al feto, así que podría usarse frecuentemente y por tiempos prolongados, sin representar riesgos.

Las señales obtenidas, como se observa del lado izquierdo de la Figura 4, son combinaciones de la información cardíaca tanto fetal como materna, así que deben separarse, lo cual implica un reto y debe realizarse conforme se va obteniendo la señal. Ahí entra en acción nuestro trabajo de investigación, que busca quitar la información perteneciente a la señal materna de una manera correcta, rápida y automática, mediante el desarrollo una herramienta computacional. Después, a partir de la señal fetal recuperada, como se muestra del lado derecho de la Figura 4, es posible medir la frecuencia cardíaca fetal de manera continua y, por último, presentarle el resultado al obstetra para que determine si hay riesgo para el feto por problemas de oxigenación.

■ El cerebro en reposo y las alteraciones cognitivas

■ Las técnicas de neuroimagen han revolucionado la forma de investigar las bases neurobiológicas del procesamiento cognitivo, que nos permiten conocer cuándo y cómo se activan las regiones del cerebro. Uno de los fenómenos cognitivos que ha resultado muy interesante para su estudio es el estado en reposo (reposo cognitivo) cuando no estamos haciendo ninguna tarea. Las investigaciones de dicho estado han establecido que el cerebro posee una organización funcional compleja que se estructura mediante redes en diferentes áreas del cerebro, y la cual compartimos los seres humanos con otras especies. Las redes son áreas que siempre están conectadas entre sí, aunque de manera individual se activan o inacti-

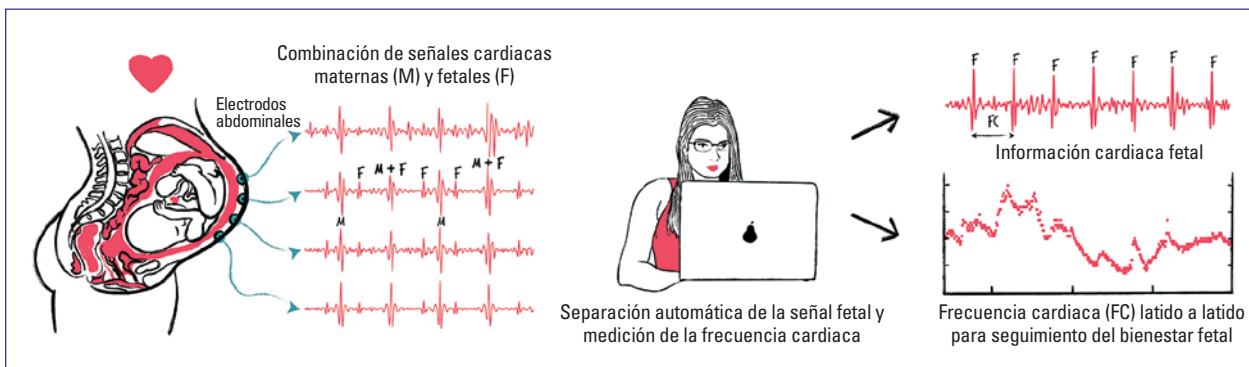


Figura 4. Mediante cuatro detectores (electrodos) se obtienen las señales cardíacas de la madre (M) y del feto (F); en el momento, la información se separa para dar seguimiento a la condición fetal. Créditos: Diego de la Vega y Aída Jiménez González.

van de forma completa al mismo tiempo. Sus diferencias están en las estructuras que las componen y en las actividades cognitivas que habilitan.

En la UAM utilizamos el reposo cognitivo, en conjunto con la resonancia magnética, para estudiar los patrones de conectividad cerebral durante este estado en tres redes cerebrales específicas que dejan entrever posibles alteraciones cognitivas. Los estudios nos muestran cómo están conectadas al interior dichas redes: pueden tener alta conectividad (hiperconectadas) o baja conectividad (hipoconectadas). Esto sirve para conocer qué tanto se comunican al interior durante el reposo, y saber si alguna estructura dentro de cada red es más importante que las demás en diferentes procesos cognitivos.

En particular, hemos estudiado tres redes diferentes (véase la Figura 5): la red por defecto (RD), que habilita los procesos de mentalización (por ejemplo, divagar); la red de saliencia (RS), que detecta los estímulos en el entorno; y la red ejecutiva central (REC), que activa conductas voluntarias de procesos cognitivos (por ejemplo, poder enfocarse para habilitar otros procesos). Se ha sugerido que la hiper o la hipoconectividad, la relevancia o la centralidad de cada estructura que pertenece a cada red, y la forma en que se transmite la información, son marcadores biológicos de la integridad en el procesamiento cerebral.

Una de nuestras investigaciones se centra en pacientes con enfermedad de Parkinson, en quienes

encontramos que la conectividad de su RS se encuentra disminuida. Dicha reducción explica un bajo desempeño en tareas de memoria. Adicionalmente, estamos investigando si la actividad espontánea de la RS en estos pacientes permite detectar de manera precisa la presencia de un deterioro cognitivo.

En otra investigación exploramos la RD durante la inducción de un estado afectivo negativo en pacientes con obesidad, para ver si se puede detectar la producción de un patrón de conectividad específico durante el estado en reposo. En otras palabras, buscamos saber si el paciente con un estado de ánimo negativo previo al estado de reposo mantiene el mismo estado de ánimo en un momento inmediato posterior. Este patrón podría ser un marcador biológico de un mecanismo cognitivo que se encuentra detrás de las alteraciones afectivas de dicha población, como el incremento en rasgos de ansiedad y depresión.

Por otro lado, en uno de nuestros proyectos buscamos el posible papel adverso del cabeceo intencional en jugadores de fútbol, ya que se ha asociado a la presencia de alteraciones neuropsicológicas. En este sentido, pensamos que las señales de la dinámica en las tres redes (RD, RS y REC) permitiría detectar a aquellos deportistas que son más susceptibles a tener efectos adversos como, por ejemplo, alteraciones en el desempeño de funciones básicas como la atención y la memoria. En resumen, el interés por caracterizar estas tres redes cognitivas en reposo radica en su

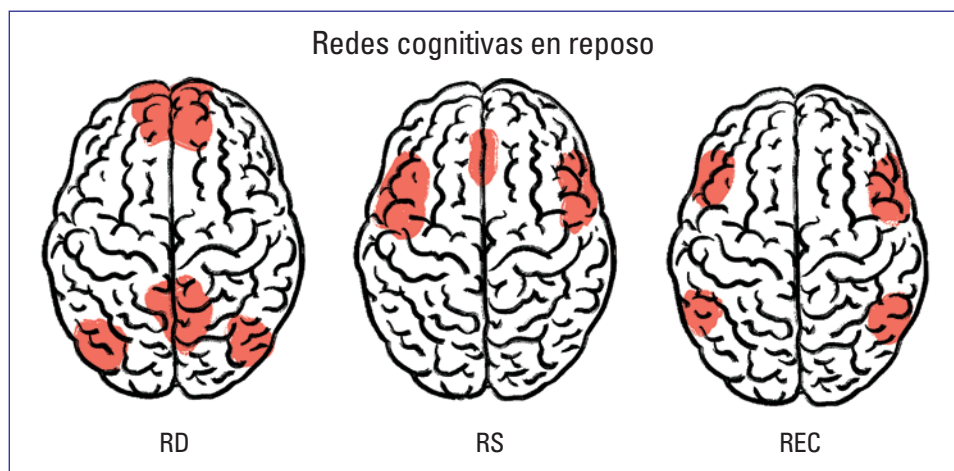


Figura 5. Redes cognitivas en reposo: red por defecto (RD), red de saliencia (RS) y red ejecutiva central (REC).

potencial como marcadores biológicos tempranos y sutiles de las alteraciones cognitivas presentes en algunas poblaciones.

Judith Cardoso Martínez

UAM Iztapalapa.
jcam@xanum.uam.mx

Facundo Rivera Becerril

UAM Xochimilco.
frivera@correo.xoc.uam.mx

Montserrat Alvarado González

UAM Cuajimalpa.
aalvarado@cua.uam.mx

Aída Jiménez González

UAM Iztapalapa.
aidaj@xanum.uam.mx

César Romero Rebollar

UAM Lerma.
c.romero@correo.ler.uam.mx

Mario A. de Leo Winkler

UAM Rectoría General.
madeleowinkler@correo.uam.mx

Judith Cardoso Martínez escribió la sección “Calidad del agua potable y remoción de contaminantes”; Facundo Rivera Becerril, “Plantas y hongos para reducir el impacto de los residuos mineros tóxicos”; Montserrat Alvarado González aportó la sección “Interfaces planta-computadora con biosensores”; Aída Jiménez González, “Seguimiento fetal, ¿sin usar ultrasonido?”; y César Romero Rebollar, “El cerebro en reposo y las alteraciones cognitivas”. Las investigaciones de Aída Jiménez González y de Facundo Rivera Becerril recibieron el Premio a la Investigación 2022 de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Lecturas recomendadas

Correa, S. (2021), “La resonancia magnética de 3 Teslas –RM 3T– es capaz de analizar el funcionamiento del cerebro en tiempo real, entre otras múltiples aplicaciones”, *Mente & Ciencia*. Disponible en: <<https://www.menteyciencia.com/resonancia-magnetica-de-3-teslas-mejoras-y-aplicaciones/>>, consultado el 10 de junio de 2023.

Montero, D. (2020), “El abastecimiento de agua en Iztapalapa. Un análisis institucional”, *Revista de Economía Institucional*, 22(43):301-321. Disponible en: <<http://www.scielo.org.co/pdf/rei/v22n43/0124-5996-rei-22-43-301.pdf>>, consultado el 10 de junio de 2023.

Organización Mundial de la Salud (2017), *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Disponible en: <<https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>>, consultado el 10 de junio de 2023.

Roberts, M. (2011), “Fútbol: demasiados cabezazos ‘pueden dañar el cerebro’”, *BBC News Mundo*. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/11/111129_dano_futbolistas_cabecear_cr>, consultado el 10 de junio de 2023.

Romero, S. M. (2020), *Evaluación de tres tratamientos para la remoción de hierro y manganeso presentes en el agua subterránea del acuífero Zona Metropolitana de la Ciudad de México* (tesis de maestría), México, Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <<http://132.248.9.195/ptd2020/noviembre/0804999/Index.html>>, consultado el 10 de junio de 2023.

Sandoval Trejo, S. I. (2016), “Proyecto Obeteen: la obesidad es nociva para el cerebro adolescente”, *Ciencia UNAM*. Disponible en: <https://ciencia.unam.mx/leer/554/Proyecto_Obeteen_la_obesidad_es_nociva_para_el_cerebro_adolescente>, consultado el 10 de junio de 2023.