

Biopilas que convierten la orina humana en electricidad

Bio-batteries that convert human urine into electricity

Mariana Martínez-Castrejón y Giovanni Hernández-Flores

Resumen

Desde una edad temprana, la sociedad nos inculca un prejuicio hacia nuestros desechos fisiológicos. La orina y heces fecales se asocian con falta de higiene. Sin embargo, en una persona sana la orina es un líquido libre de bacterias que se origina en los riñones y sus componentes principales son agua y nutrientes. En la última década los científicos han mostrado un interés en estudiar la orina humana como posible combustible y fuente de agua; hasta el día de hoy se han inventado algunos modelos de pilas que emplean bacterias para convertir la orina humana en energía eléctrica. A pesar de que aún se encuentran en desarrollo, las biopilas basadas en orina han mostrado resultados interesantes y prometedores.

Palabras clave: agua residual, bioelectricidad, celdas de combustible microbianas, energías alternativas, orina humana.

CÓMO CITAR ESTE TEXTO

Martínez-Castrejón, Mariana y Hernández-Flores, Giovanni. (2022, septiembre-octubre). Biopilas que convierten la orina humana en electricidad. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 23(5). <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.5.3>

Abstract

From an early age, society instills in us a prejudice towards our physiological waste. Urine and feces are associated with poor hygiene. However, in a healthy person, urine is a bacteria-free liquid that originates in the kidneys and its main components are water and nutrients. In the last decade scientists have shown an interest in studying human urine as a possible fuel and water source; To this day, some models of batteries have been invented that use bacteria to convert human urine into electrical energy. Although still under development, urine-based bio-batteries have shown interesting and promising results.

Keywords: wastewater, bioelectricity, microbial fuel cells, alternative energies, human urine.

Mariana Martínez Castrejón

Centro de Ciencias de Desarrollo Regional, UAGro

Arquitecta, Especialista en Construcción Sustentable y Eficiencia Energética y discente del Doctorado en Ciencias Ambientales en la Universidad Autónoma de Guerrero. Catedrática en el TecNM campus Acapulco. Su línea de investigación es la gestión sustentable del agua a través de ecotecologías, con base en economía circular. Su área de interés es la reconversión de edificios hacia la sustentabilidad hídrica y energética.

 marianamartinez@uagro.mx

 orcid.org/0000-0002-1224-7479

Giovanni Hernández Flores

CONACYT - Escuela Superior de Ciencias de la Tierra, UAGro

Doctor en Ciencias en Biotecnología. Realizó sus estudios de maestría y doctorado en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Actualmente se desempeña como Investigador por México en la Escuela Superior de Ciencias de la Tierra de la UAGro, dentro del proyecto "Distribución, calidad y aprovechamiento del agua en la región del norte de Guerrero". Su línea principal de investigación se enfoca en el tratamiento de drenaje ácido de mina y agua residual municipal, empleando sistemas bioelectroquímicos. Su área de interés es la recuperación de la calidad del agua por diferentes métodos para reincorporarla al ciclo productivo, y contribuir con la preservación y restauración del equilibrio ecológico.

 ghernandez@conacyt.mx

 orcid.org/0000-0001-8464-832X

Introducción

Todos hemos usado pilas y baterías eléctricas — también conocidas como acumuladores eléctricos—, que contienen electricidad almacenada, lo que facilita el uso de aparatos eléctricos cotidianos sin necesidad de permanecer conectados a una toma de corriente directa. Algunos de estos aparatos son celulares, videojuegos y computadoras portátiles, entre muchos más, incluidos los autos (ver figura 1a). Las pilas han facilitado la vida moderna enormemente; sin embargo, ¿te imaginas un teléfono celular que se recargue empleando orina humana? Esta posibilidad ya no es producto de la imaginación. Esto nos lleva a otra pregunta: ¿podría comercializar mi orina como fuente de energía eléctrica?

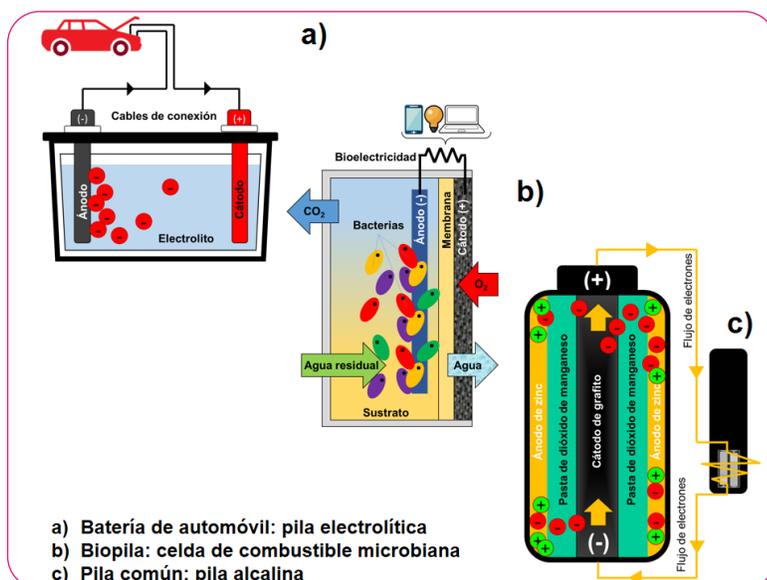
La orina humana llamada comúnmente pipí, es un residuo del cuerpo, libre de bacterias y virus en una persona sana. Presenta

un olor característico fuerte y desagradable. Se ha demostrado que puede ser empleada para generar corriente eléctrica capaz de recargar celulares, laptops e incluso encender lámparas. De acuerdo con Patel et al. (2020), la obtención de energía a partir de orina es posible mediante una especie de pilas que han recibido el nombre de *celdas de combustible microbianas* (ver figura 1b).

Historia de las pilas

El origen de las pilas eléctricas se remonta a 1780. Luigi Galvani descubrió accidentalmente que, si se ponían en contacto dos metales diferentes y ambos tocaban simultáneamente diferentes puntos de un nervio de anca de rana, se producía movimiento en la pierna del anfibio a pesar de estar muerto. Este descubrimiento sirvió como base para Alessandro Volta, que en 1799 inventó las pilas contemporáneas. Estas pilas reciben el nombre de pilas voltaicas en honor a Alessandro Volta o galvánicas en honor a Luigi Galvani, científicos pioneros en su desarrollo (ver figura 1c).

Figura 1. Tipos de pilas contemporáneas.



Funcionamiento de una pila

Una pila es una fuente de energía. De acuerdo con Castelvechi (2011) en 1836, John Frederic Daniell fue el primero en diseñar y construir una pila. Unió, empleando un alambre, una barra de zinc (un metal) al que le llamó ánodo, con una barra de cobre (otro metal) al que llamó cátodo. Ambas barras metálicas se encontraban

sumergidas en una solución de sulfato de cobre (una sal disuelta en agua) y separadas por una pared hecha con gelatina salada. La barra de zinc se comenzó a desintegrar, mientras que en la barra de cobre se comenzó a generar una corteza. El cobre funcionó como una aspiradora succionando los electrones de la barra del zinc. Los electrones que circulan a través del alambre son aprovechados como energía eléctrica. Las pilas diseñadas por Daniell pueden ser clasificadas como pilas abióticas, debido a que su funcionamiento no involucra ningún tipo de vida (ver figura 1c).

Pilas vivitas y coleando

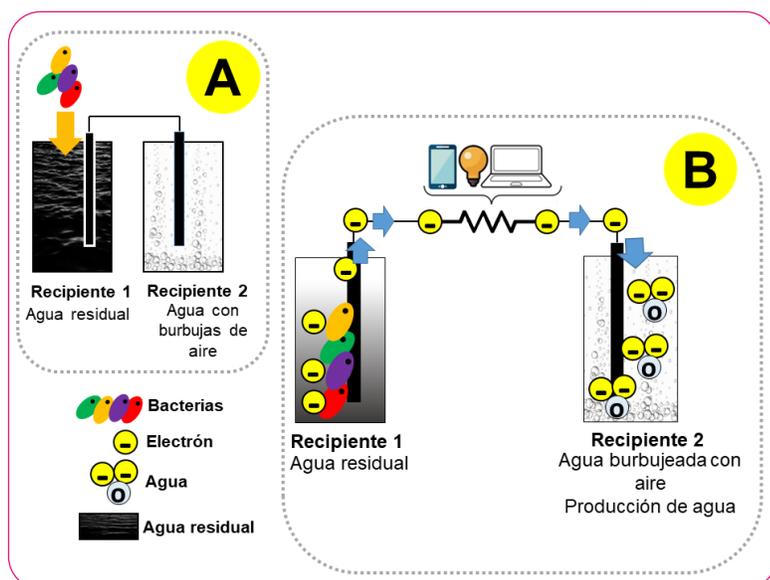
Un siglo después del descubrimiento de la pila voltaica, se realizó otro gran descubrimiento: las *biopilas*, también conocidas como *celdas de combustible microbianas*. Estos dispositivos generan energía eléctrica a través de bacterias. El funcionamiento de las biopilas es similar al de las pilas galvánicas. La diferencia es que las bacterias son las encargadas de

producir la electricidad (ver figura 1b). Esta novedosa tecnología ha despertado el interés de los científicos por las siguientes ventajas: remueve contaminantes a partir de agua residual, favorece la obtención de nutrientes, y genera bioelectricidad. En resumen, representa una alternativa sostenible para la generación de electricidad (Logan et al, 2006).

Pero ¿cómo es que los microorganismos logran producir electricidad? Existen al menos dos grandes grupos de bacterias: aquellas que usan el oxígeno para vivir y aquellas donde el oxígeno les resulta tóxico. Ambos grupos necesitan de compuestos orgánicos que emplean como alimento. Las bacterias relacionadas con la generación de energía eléctrica no necesitan del oxígeno para vivir y toman su alimento directamente de un medio líquido. Así, el agua residual presenta una gran cantidad de alimento (también llamado sustrato), que puede ser utilizado por los microorganismos (ver figura 2). Por la presencia de bacterias involucradas en la generación de electricidad, también se les conoce como *dispositivos bioelectroquímicos*. A diferencia de las pilas abióticas, las biopilas pueden eliminar contaminantes del agua residual y convertirlos en energía y nutrientes para plantas, como nitrógeno, fósforo y potasio (Santoro et al., 2020).

La orina humana forma parte del agua residual municipal y aporta nutrientes para plantas. Además, la orina presenta una cantidad importante de alimento que los microorganismos pueden consumir y convertir en energía eléctrica (Ieropoulos et al., 2013).

Figura 2. Funcionamiento de una biopila. En el recipiente 1 se adicionan microorganismos que se alimentan del sustrato presente en el agua residual y liberan electrones, que transitan de este recipiente a otro a través de un par de electrodos unidos con un alambre. En el recipiente 2, estos electrones se unen al oxígeno del medio, con lo que se forma agua.



De residuo a recurso

Desde el nacimiento de las biopilas, diferentes tipos de agua residual han sido evaluados como combustible. Un ejemplo de combustible ampliamente conocido es la gasolina. Ésta puede ser introducida a un generador para convertirla en electricidad. En las biopilas, los contaminantes orgánicos funcionan como la gasolina de un motor. En pocas palabras, esta tecnología puede descontaminar al agua mientras produce energía eléctrica (Logan et al., 2006).

En este sentido, la orina humana ha captado la atención de un grupo de investigadores financiados por Bill Gates, quienes han desarrollado una línea de investigación para usarla como combustible para estos dispositivos (Santoro et al., 2020).

El poder de la pipí humana

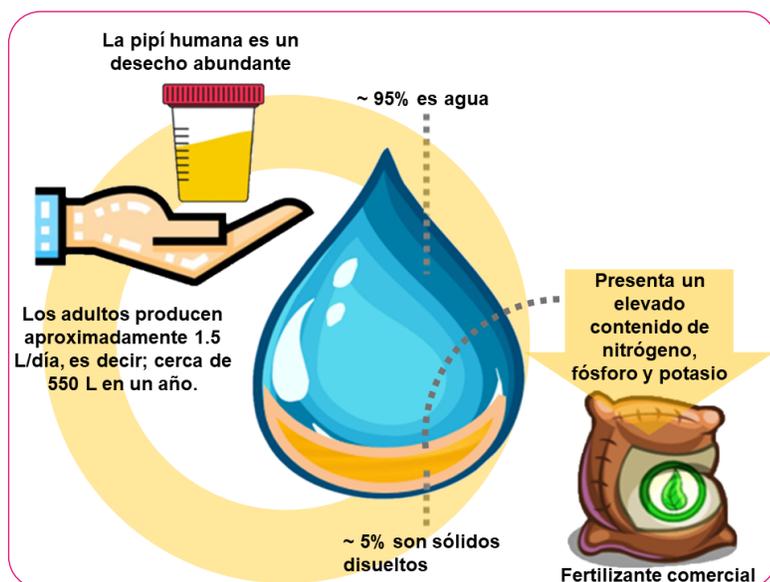
La orina humana resulta atractiva por su abundancia y su composición, pues (ver figura 3):

1. Aproximadamente 95% es agua.
2. La orina procedente de humanos saludables no presenta microorganismos infecciosos, por lo que puede funcionar como una fuente alternativa de agua.
3. Presenta compuestos orgánicos empleados como combustible y convertidos en electricidad como urea, creatinina, amoníaco y ácido úrico.
4. Contienen elevada concentración de nitrógeno, fósforo y potasio, comúnmente encontrados en los fertilizantes comerciales.

Micciones con objetivo

Para el uso de la orina humana, es necesario contar con una separación eficiente. Se debe evitar al máximo la mezcla con popó y con el agua de descarga. Para conseguirlo se han implementado sanitarios separadores. Diferentes trabajos se han realizado para demostrar la capacidad de la orina como fuente de energía (ver video 1). En la tabla 1 se muestra una serie de investigaciones por el Dr. Ioannis Ieropoulos empleando orina humana en biopilas para hacer funcionar diferentes dispositivos.

Figura 3. Características de la orina humana.



Video 1. La orina humana podría cargar nuestros teléfonos móviles (euronews [en español], 2017).

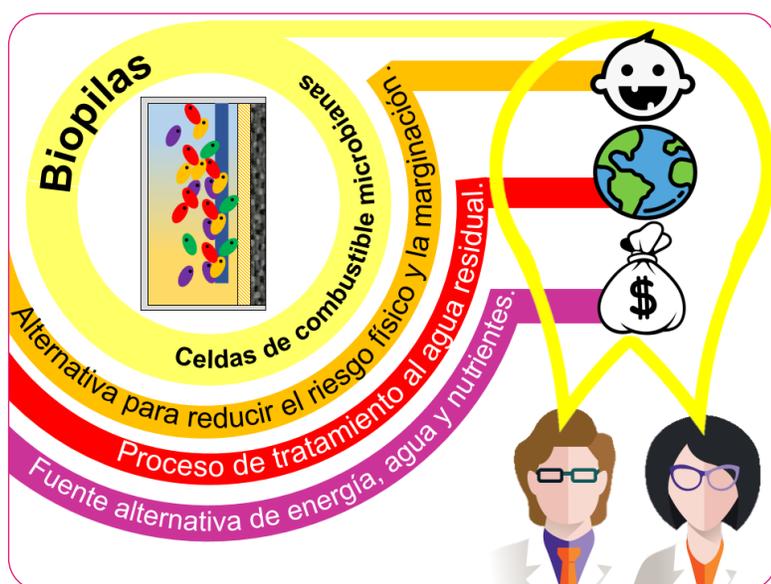
Año	Dispositivo alimentado
2013	Teléfono celular: Samsung GT-E2121B
2015	Dispositivo de transmisión sin cables autosuficiente
2015	Transmisor de radio localización portátil de emergencia
2015	Diodo emisor de luz roja: Avago Technologies
2016	Ambientador comercial emisor de esencias
2017	Smartphone y sistema de carga remota
2017	Sensor para el monitoreo de la calidad del agua
2019	Sistema de recuperación de nutrientes auto-alimentado
2020	Microcomputadora con pantalla: Gameboy Color, Nintendo®

Tabla 1. Uso de pipí humana para cargar eléctricamente diferentes dispositivos

Científicos por el bien común

Algunos intentos del equipo del Dr. Ieropoulos para avanzar en la comercialización de los dispositivos incluyen pruebas en escenarios reales (Santoro et al., 2020). Así, en el

Figura 4. Beneficios de las biopilas para la sociedad.



campus Frenchay de la Universidad de Inglaterra del Oeste (UWE), se instaló el primer urinario Pee Power®. En este intento se planteó que la iluminación del urinal se alimentara totalmente con biopilas (Fully Charged Show, 2021)

En el mismo orden de ideas, en 2015, se llevaron a cabo pruebas en el festival de música de Glastonbury, Reino Unido. Se diseñó un urinario colectivo con comedores integrados que serviría de piloto para los que se instalaron en los campos de refugiados en África por Oxfam, una confederación internacional que realizan labores humanitarias para combatir pobreza y marginación (ver figura 4). Este diseño presentaba luces en el techo que mostraban en tiempo real que la orina era convertida en electricidad directamente por las biopilas. Un año después, en el mismo festival, el diseño del urinal se amplió para dar servicio a 25 personas. Para Glastonbury 2017, instalaron dos urinarios separados. El urinal principal daba servicio a 40 personas, mientras que otro era para dos personas. En esta ocasión, no solo se conectaron luminarias a las biopilas, sino que se implementaron pantallas electrónicas inteligentes y una torre de recarga para teléfonos móviles. Todos los accesorios funcionaron a base de la pipí colectada. Otros de los escenarios de aplicación fueron escuelas en Uganda y Kenia en África con acceso limitado a la red eléctrica, y campos de refugiados Oxfam en la misma región (Santoro et al., 2020).

La primera instalación exitosa en comunidades que sufren marginación y pobreza se realizó en la Escuela de Niñas Seseme, una zona rural de Uganda. En este ensayo, la pipí

proporcionó iluminación hacia zonas exteriores de los sanitarios y al interior de cuatro cubículos. De acuerdo con Christodoulou (2018), la Agencia de Noticias Cyprus (2018) y Husseini (2019), la aplicación de las biopilas en zonas marginadas y vulnerables benefició de varias maneras:

- Previnieron actos de violencia contra los usuarios del baño por las noches y picaduras/mordeduras por fauna peligrosa.
- Capacitaron estudiantes sobre cómo funciona y se construye esta tecnología.
- Incentivaron la creatividad de la comunidad, enfocándola a la satisfacción de sus necesidades para mejorar su calidad de vida.

Esta primera prueba llevó a los científicos a refinar las celdas de combustible microbianas. Para lograrlo se enfocaron en la reducción de tamaño, para hacerlas modulares y capaces de satisfacer las necesidades de electrificación y/o saneamiento de diferentes entornos.

El segundo intento de instalar biopilas se llevó a cabo en una escuela-internado con 700 alumnos en un barrio marginado de Nairobi, Kenia. El sistema iluminó los módulos de sanitarios empleando focos LED. La instalación se realizó con la participación del equipo de investigadores del Bristol BioEnergy Center (BBiC) y el Fondo de Educación Infantil de Akamba. El dispositivo propuesto canalizó la orina a una columna con más de 200 biopilas. Este diseño alimentó el sistema de iluminación y recarga de teléfonos móviles.

En los dos últimos casos, la tecnología ayudó a iluminar patios y jardines, particularmente en el área de letrinas (Santoro et al., 2020). Otros sitios propuestos para ensayos de campo son: India, Nepal y Sudáfrica. Además, destacan los esfuerzos de la empresa social Robial para comercializar los dispositivos Pee Power®. Esta organización surge en la Universidad del Oeste de Inglaterra y se enfoca en el empleo de celdas de combustible microbianas alimentadas con carbón orgánico, presente en orina y en diversos tipos de agua residual para la producción de bioelectricidad (Ieropoulos et al., 2016).

El creador de la tecnología Pee Power® es el doctor Ieropoulos, proyecto que comenzó a desarrollar en 2000. Su objetivo era emplear celdas de combustible microbianas como fuente de poder para robots autónomos. Ieropoulos consiguió que dos robots completamente autónomos reportaran condiciones ambientales (temperatura, humedad y niveles de contaminación) desde áreas rurales remotas, teniendo como fuente de alimentación las celdas de combustible microbianas. A pesar de que la comercialización de las celdas se encuentra en las primeras etapas, la empresa Robial espera poder producir grandes cantidades de energía en un futuro cercano, con varias aplicaciones.

Las biopilas producen energía a circuito cerrado equiparable con las pilas convencionales y con los paneles solares. La energía generada por las celdas de combustible microbianas empleando orina equivale a la energía de una pila AAA; y su eficiencia es menor que la de las pilas AA. Sin

embargo, el Dr. Ieropoulos explica que esto no es la limitante de la tecnología, una mejor investigación y desarrollo de materiales beneficiará la eficiencia de las biopilas (Huseini, 2019).

En la actualidad, una celda de combustible microbiana operando con 10 mL de orina o agua residual puede generar aproximadamente 1-2 miliwatts de potencia. Además, se estima que cada adulto produce alrededor de 300-550 L anuales de orina (ver figura 3). ¿Y si empleáramos la orina producida a nivel global en un mundo con más de 7 mil millones de habitantes? Entonces seríamos capaces de generar electricidad limpia para iluminar ciudades enteras alrededor del mundo, mientras producimos agua y nutrientes para la agricultura, a partir de un líquido que actualmente es considerado un desecho contaminante y desagradable.

Conclusiones

En años recientes ha quedado demostrado que las biopilas cumplen funciones útiles sin requerir de energía externa para operar. Sin embargo, la tecnología de las biopilas aún se encuentra en desarrollo. La idoneidad comercial de una tecnología es determinada por un sistema de clasificación de acuerdo con su nivel de preparación tecnológica TRL (Technology Readiness Level). En relación con esta clasificación, las celdas de combustible microbianas se encuentran en la región TRL1-TRL3. Es decir, su desarrollo científico está a nivel de laboratorio. En los experimentos aún se emplean electrodos y separadores fabricados en laboratorio; mientras que la tecnología

de sus primos lejanos, la energía fotovoltaica (la de los paneles solares), se ha desarrollado por décadas y las pilas alcalinas por siglos. Con el desarrollo y evolución de los materiales los 1-2 milliwatts producidos con 10 mL de orina, serán generados con 1 mL o menos. Con lo anterior, se lograría la reducción del tamaño de las celdas y se convertirían en módulos compactos apilables e interconectados, capaces de iluminar hogares enteros con simplemente ir al baño.

Referencias

- ❖ Agencia de Noticias Cyprus. (2018, 18 de julio). Pee Power energy developed by Cypriot scientist extends to Kenya. *CyprusMail*. <https://cutt.ly/gXzQHtv>
- ❖ Castelvechi, D. (2011, mayo). El origen de las baterías. *Investigación y Ciencia*, (416). <https://cutt.ly/OXzWyr6>
- ❖ Christodoulou, K. (2019, 13 de septiembre). Pee-Power project has successful trial in South Africa, Ethiopia next. *CyprusMail*. <https://cutt.ly/zXzEaGi>
- ❖ Euronews (en español). (2017, 7 de febrero). *Tu orina podría cargar tu teléfono móvil* [Video]. YouTube. <https://youtu.be/2uPz57Xv7kl>
- ❖ Huseini, T. (2019, 28 de enero). A new source of clean energy? *Urine luck!* Power technology. <https://cutt.ly/YXzEMQ0>
- ❖ Ieropoulos, I., Ledezma, P., Stinchcombe, A., Papaharalabos, G., Melhuish, C., y Greenman, J. (2013). Waste to real energy: the first MFC powered mobile phone. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 15(37), 15312. <https://doi.org/10.1039/c3cp52889h>

- ❖ Ieropoulos, I., Stinchcombe, A., Gajda, I., Forbes, S., Merino-Jimenez, I., Pasternak, G., Sanchez-Herranz, D., y Greenman J. (2016). Pee power urinal-microbial fuel cell technology field trials in the context of sanitation. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 2, 336-343. <https://doi.org/10.1039/c5ew00270b>
- ❖ Logan, B. E., Hamelers, H. V. M., Rozendal, R. A., Schöder, U., Keller, J., Freguia, S., y Rabaey, K. (2006). Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology. *Environmental Science and Technology*, 40(17), 5181-92. <https://doi.org/10.1021/es0605016>
- ❖ Patel, A., Mungray, A. A., y Mungray, A. K. (2020). Technologies for the recovery of nutrients, water and energy from human urine: A review. *Chemosphere*, 259, 127372. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127372>
- ❖ Santoro, C., Salar-Garcia, M. J., Walter, X. A., You, J., Theodosiou, P., Gajda, I., Obata, O., Winfield, J., Greenman, J., y Ieropoulos, I. (2020). Urine in bioelectrochemical systems: an overall review. *ChemElectroChem*, 7(6): 1312-1331. <https://doi.org/10.1002/celec.201901995>
- ❖ Fully Charged Show. (2021, 16 de noviembre). The Living Fuel Cell Powered By Human Waste | Fully Charged [Video]. YouTube. <https://youtu.be/GvCnNKejUvE>