

Sustentabilidad energética en el manejo de aguas residuales

Propuesta de Proyecto de Innovación

Contreras J., Fuentes C., Sarabia S., Kai R., Ruiz J., Zúñiga J., Navarrete C., Piñero J.,
Monreal A., Martínez A., Lascurain M.

Colegio Las Hayas



Dedicatoria	2
Abstract	3
Introducción	4
Metodología de la investigación	7
Resultados	8
Discusión	10
Agradecimientos	12
Referencias	15

Dedicatoria

A todos aquellos que nos apoyaron en nuestro proyecto de innovación: maestros, expertos en temas relevantes, compañeros de equipo, padres y, por supuesto, al Colegio Las Hayas.

¡Gracias!

Abstract

In this article, we present a project developed by our robotics team “Robocoons,” focused on sustainable wastewater management. Our concept entails placing a hydroelectric turbine in a wastewater treatment plant, that will act as a dynamo being actioned by the clean water flow from the last step of its process, making it nearly self-sufficient by covering 64% of its electric energy needs, given that it currently requires 1250 kilowatts. This innovation intends to enhance environmental sustainability while also lowering the plant's running expenses by reducing its energy usage and carbon footprint. The CFE and potential investors, who are interested in renewable energy and sustainable water management are our target audience. By this project, we wish to encourage others to look into cutting-edge approaches to sustainable water management, to contribute to a more sustainable future, and to support the global adoption of sustainable practices.

En este artículo, presentamos un proyecto desarrollado por nuestro equipo de robótica “Robocoons”, enfocado en el manejo sustentable de aguas residuales. Nuestro concepto consiste de colocar en una planta de tratamiento de aguas residuales, una turbina hidroeléctrica que actúe como un dínamo siendo accionado por el flujo de agua limpia saliendo de la última fase de su tratamiento, haciéndola casi autosustentable cubriendo un 64% de sus necesidades energéticas, considerando que ahora requiere de 1250 kilowatts. Esta innovación tiene como objetivo mejorar la sustentabilidad ambiental a la vez que se disminuyen los costos de operación de la planta reduciendo su uso de energía y huella de carbono. La audiencia objetivo es la CFE y los inversores interesados en energía renovable y manejo sustentable de aguas residuales. Con este proyecto deseamos inspirar a otros a buscar alternativas innovadoras con respecto al manejo sustentable de aguas residuales, a contribuir a un futuro más sustentable y a apoyar la adopción global de prácticas sustentables.

Introducción

La energía es un recurso fundamental para la humanidad, que cada vez demanda más recursos para cubrir sus necesidades de consumo y bienestar. En las últimas décadas, el sistema energético mundial se ha basado principalmente en la obtención a través de combustibles fósiles, lo que ha tenido un impacto negativo en el medio ambiente y ha causado el cambio climático. Por esta razón, las sociedades modernas se inclinan cada vez más hacia la adopción de medidas que protejan nuestro planeta. Así lo reflejan las actuales políticas nacionales y los acuerdos y tratados internacionales que incluyen como objetivo prioritario un desarrollo sostenible que no comprometa los recursos naturales de las futuras generaciones.

En septiembre de 2015, los 193 estados miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), firmaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, la cual continúa y profundiza la tarea comenzada en el año 2000 por los objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y que la comunidad internacional se comprometió a cumplir en el 2015. Aún cuando los objetivos se enfocan principalmente en problemáticas de los países en desarrollo, también son válidas en los países desarrollados, donde es necesario avanzar en temas como: producción y consumo responsable, cuidado del medio ambiente y lucha contra el cambio climático, solo por mencionar algunos. De igual manera, consideramos la Carta a la Tierra cuyos principios son más enfocados a tomar acción desde temprana edad para llevar a la realidad ideas o proyectos que mejorarán la calidad de vida de los habitantes de ella.

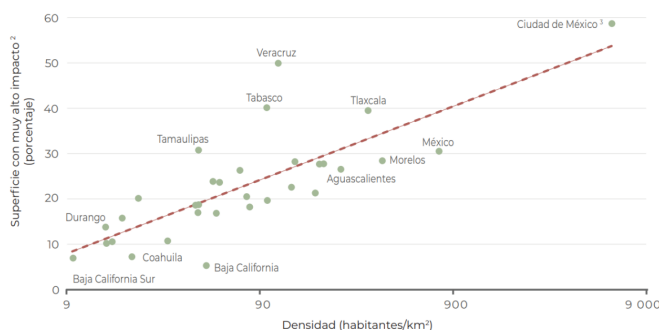
México se encuentra, al igual que muchos países del mundo, frente al desafío de resolver numerosos problemas ambientales que podrían convertirse en un obstáculo significativo para su desarrollo y sostenibilidad en el futuro cercano. Entre los problemas que deben abordarse en el estado mexicano se encuentran la reducción, pérdida y la degradación de los ecosistemas terrestres y acuáticos, la conservación de su biodiversidad, la garantía de la disponibilidad, la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero, el avance en la adaptación a los efectos del cambio climático, la mejora de la calidad del aire en muchas

áreas urbanas del país y la calidad del recurso hídrico que afecta a millones de personas tanto en el medio rural como urbano, en su uso doméstico, personal e industrial.

La energía hidroeléctrica es la energía renovable con mayor antigüedad, y a lo largo de los años, la innovación continua ha conseguido que las centrales hidroeléctricas sean cada vez más eficientes; en México, la CFE (Comisión Federal de Electricidad), que es la principal empresa productora de energía eléctrica del país, cuenta con 60 centrales hidroeléctricas que aportan una capacidad efectiva total de 12,125.363 MW, lo que representa alrededor del 12% de la generación total de electricidad en México.

Aún así, el rápido crecimiento poblacional en el país genera una mayor demanda de recursos y una mayor producción de desechos biológicos, tal como se muestra en la siguiente gráfica, indica el impacto que han tenido algunas ciudades mexicanas en el ambiente, generando una degradación ambiental:

Huella humana y densidad poblacional por entidad federativa, 2011



1. El impacto ambiental considera la presencia de actividades productivas (por ejemplo, agricultura, ganadería, acuicultura, plantaciones forestales o minería a cielo abierto), la presencia de zonas urbanas (incluyendo zonas industriales e instalaciones de generación de energía) y de infraestructura (vías de comunicación, presas, aeropuertos, canales, líneas de transmisión eléctrica, sitios de disposición de residuos sólidos y las plantas de tratamiento, entre otras).
2. Se refiere a la cantidad de superficie, expresada en porcentaje del total, de la entidad federativa que ha sido impactada por las actividades productivas, la presencia de zonas urbanas y de infraestructura.
3. El 29 de enero 2016 se publicó en el DOF que el Distrito Federal cambiaba su denominación a Ciudad de México. La información correspondiente a dicha entidad se presenta con este nuevo nombre.

El tratamiento de aguas residuales, cuyo crecimiento va ligado al de la población y de la industria, es un proceso importante que busca eliminar o reducir la contaminación o características no deseables del agua mediante operaciones físicas, químicas, fisicoquímicas o biológicas para obtener agua con las características adecuadas al uso que se le quiera dar. Además de que permite la reutilización del agua para fines agrícolas, industriales y otros usos.

En México, el tratamiento del agua es crítico debido a su escasez en estado potable y a la creciente necesidad de la población, especialmente en áreas urbanas e industriales. La falta de un tratamiento adecuado de las aguas residuales puede tener graves consecuencias para la salud humana y el medio ambiente, debido a que suelen contener una variedad de contaminantes que pueden ser perjudiciales para los ecosistemas acuáticos y terrestres, además de la contaminación de fuentes del líquido y, como daño colateral, la emisión de gases de efecto invernadero.

En nuestra comunidad de Xalapa, existe una planta de agua llamada PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales); dicha planta recibe cargas de los sistemas de drenaje urbano y realiza dicho tratamiento de aguas por medio de un sistema de tratamiento biológico convencional de lodos activados y un tratamiento de lodos por digestión anaerobia que consta de dos módulos de proceso continuo, diseñado para un tratamiento de 750 LPS promedio y un flujo pico de 1350 LPS.

Actualmente opera los 365 días del año, con un volumen mensual promedio de agua tratada de 1,800,000 metros cúbicos. Con una eficiencia del 92% calculada a partir de la remoción de la demanda química de oxígeno (DQO), utilizando la dqo de entrada contra la de salida.

Un problema de suma importancia es que las PTAR consumen una gran cantidad de energía eléctrica externa a ella, y que tiende a ser de fuentes contaminantes y no renovables. Una gran parte del presupuesto de las plantas es destinado al pago por este recurso (mayor a 500 mil pesos mensuales). La combinación de tecnologías de tratamiento de aguas residuales de tipo residencial y plantas hidroeléctricas presenta una oportunidad única para abordar simultáneamente los desafíos ambientales y energéticos. Creando una minicentral hidroeléctrica, de tipo agua fluyente, que es nuestra propuesta, se reducirían los costos por el consumo de electricidad, promoviendo una estrategia sustentable para la PTAR y la comunidad en la que se encuentra.

Metodología de la investigación

Para resolver los cuestionamientos que surgieron durante el estudio del estado del arte al respecto de nuestro proyecto se visitaron múltiples sitios de interés y se entrevistaron a varios expertos en las materias de ecología, energía, desarrollo ambiental, investigación e innovación.

Nuestro primer acercamiento profesional al tema fue una entrevista con el ex Secretario del Medio Ambiente del Estado de Veracruz con el objetivo de que nos ayudara a establecer un mejor curso de investigación y planteamiento del proyecto.

Seguido a esto, se buscaron reportes y fichas informativas sobre la PTAR, donde se mostraba el proceso del tratamiento. Posteriormente se realizó la primera visita de campo. Se entrevistó por videoconferencia al Ing. Rómulo Sánchez Velázquez, Director de la Agencia Estatal de Energía de Veracruz. Después de esto. Se realizó la relación de los parámetros establecidos por CFE, así como una búsqueda de información para conocer el caudal para generar electricidad suficiente con la turbina en cuestión y se revisó documentación emitida por CFE y CMAS (Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento) con respecto a los lineamientos para la creación de una central hidroeléctrica. Asimismo, con objetivo de realizar una propuesta de proyecto viable, se realizó una investigación de los tipos de turbinas que se podrían utilizar, así como sus costos y necesidades de flujo de agua.

Se visitó el CBTIS no. 165 “Leona Vicario” para conocer los proyectos del Dr. Manuel Guevara Huerta, que tiene experiencia en el tema y podría ayudarnos en el nuestro. Posteriormente se concretó la segunda y última visita de campo, siendo en la Central Hidroeléctrica de Texolo. Durante el proceso de documentación, nos percatamos de que se requeriría ayuda para establecer una estructura clara y concisa. Fue entonces cuando el investigador Rodolfo Landa H. nos ofreció ayuda y nos proporcionó los pasos necesarios para escribir adecuadamente la documentación.

Resultados

En la entrevista con el ex Secretario del Medio Ambiente del Estado de Veracruz, se nos sugirió familiarizarnos con la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y se nos explicó la existencia de proyectos similares, así como programas de apoyo, lo que nos impulsó a seguir adelante con dicho proyecto.

En el informe presentado por CMAS “Descripción del proceso del tratamiento de aguas residuales en las plantas de tratamiento I y II” extrajimos algo de información e identificamos las preguntas que resolveremos con la visita de campo. Se encontró que el costo de la energía eléctrica para el funcionamiento normal de la planta es de 500,000 pesos al mes, equivalente a aproximadamente 1250 kilowatts (600 kilowatts si se cuenta únicamente la energía utilizada en el proceso de tratamiento), que se procesan aproximadamente 400 litros por segundo con el consumo actual de energía eléctrica, y que el agua permanece en la planta por unas 15 horas; el precio por metro cúbico de agua tratada es de 70 centavos de peso.

Algunos datos de la PTAR que se encontraron relevantes para nuestra conclusión final son:

- Laboran alrededor de 70 personas que llevan un largo tiempo con su trabajo.
- La Comisión Nacional del Agua realiza revisiones trimestrales para garantizar que los requisitos de la NOM-001, Norma Oficial Mexicana con la que se rige, sean cumplidos.
- Es imposible detener su funcionamiento por un largo periodo sin una justificación razonable, puesto que el 70% del agua de Xalapa es tratada en esta planta. Por esto, si se realiza una reparación o remodelación que requiera detener el flujo del agua, esta debe ser breve y con motivo claro.
- La diferencia entre el volumen de agua que entra y sale es mínima: 1.5%.
- No depende de sistemas de bombeo complejos: la tubería que transporta el agua funciona a base de gravedad.

- El agua tratada no es apta para consumo humano; su principal uso actualmente es el riego de espacios verdes de la ciudad. Por lo tanto, no se debe asumir que se va a trabajar con agua limpia.

Se encontró que cada unidad hidroeléctrica de la central de Texolo genera 800 kilowatts, habiendo dos, resulta en 1600 en total. Ésto con flujo de 815 litros por segundo.

También se nos presentó que existen distintos tipos de generadores, y que en Texolo se utiliza el tipo “Francis”.

Es importante mencionar que ya existen 13 proyectos por parte de CFE de centrales hidroeléctricas, siendo 9 mayores y 4 minicentrales, con el propósito de aumentar la producción de energía limpia de este modo, que actualmente consiste en un 67.5% de la energía renovable nacional, y la energía limpia (considerando a la nucleoelectrica) consiste en un 38% del total de energía en el país.

Discusión

Identificamos la problemática que se resolverá y realizamos el planteamiento de nuestra hipótesis. En nuestro caso decidimos que nuestro proyecto será la creación de una mini central que abastecerá a la planta de residuos por medio de una turbina que se accionará utilizando el efluente que se desagua por medio del canal hacia el río limpio. Después de recabar datos de fuentes confiables, como artículos, repositorios y tesis, contactamos a diversos expertos en materia de ecología, energía y desarrollo ambiental, los cuales nos dieron nuestra primera introducción general al tema de las energías renovables y su importancia.

Al implementar la generación de energía a partir de los recursos que actualmente son desaprovechados, se lograría un desacople entre la curva de desarrollo y la de impacto ambiental, lo que nos permitirá obtener los siguientes beneficios:

- Cumplir con el objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 7, que fue implementado por la UNESCO y que busca “Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna”. Nuestro proyecto abarca de forma integral este objetivo, debido a la creación de un modelo que puede ser replicable en muchas comunidades en distintas localidades.
- Reducir el impacto del uso de los recursos energéticos naturales al aprovechar un medio ya disponible como es el efluente que se libera de la PTAR.
- Reducir los costos operativos de la PTAR, al ejecutar la generación de energía por medio de la minicentral hidroeléctrica.
- Garantizar la sostenibilidad de la planta en el tiempo, sustituyendo la energía no renovable por renovable.
- Aprovechar la infraestructura ya existente en la mayor medida posible.
- Creación de un modelo replicable en todo el país. Al ser un modelo sencillo de replicar y fácilmente adaptable a distintas instalaciones.

- Al implementar la generación de energía a partir de los recursos que antes eran desaprovechados, se lograría un desacople entre la curva de desarrollo y la de impacto ambiental, lo que reduciría el consumo energético y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Siendo el objetivo de este proyecto que sea viable, a continuación se presentan los cálculos respecto a la relación costo-beneficio:

- El costo de la energía eléctrica mensualmente de la PTAR es de medio millón de pesos.
- Considerando que del total de energía de 1250 kilowatts consumida, se propone una capacidad de producción de 800 kilowatts, logrando reducir en un 64% el costo total, traduciéndose en 320,000 pesos al mes ahorrados.
- Si se consideran turbinas en el mercado internacional, con un precio de 5,000 dólares estadounidenses cada una, el precio total será de 10,000 dólares estadounidenses. Tomando el tipo de cambio para el 5 de marzo de 2023 de 17.98 pesos por dólar, el precio final será de 179,830 pesos.
- Por lo tanto, la recuperación de la inversión se efectuará en menos de un mes (asumiendo que los costos de instalación y recuperación por inoperancia de la planta resulten en una cantidad inferior a 140,170 pesos mexicanos).

Este proyecto logra ingresar en la categorización de crecimiento mediante una economía circular, lo que significa que no sólo beneficia a los inversionistas, sino a toda la sociedad, puesto que propiciará una baja en el consumo de energía no renovable.

Agradecimientos

Nos complace expresar nuestro más sincero agradecimiento a las siguientes personas e instituciones que han sido fundamentales para el desarrollo de nuestro proyecto de innovación.

En primer lugar, agradecemos al **Colegio Las Hayas** por su generosa contribución al brindarnos el espacio y los recursos necesarios para llevar a cabo nuestra investigación y desarrollar las actividades necesarias para nuestra preparación, con una experiencia divertida y satisfactoria. **Su apoyo y confianza en nuestro trabajo han sido invaluable.**

Nos gustaría dar un reconocimiento especial a nuestros maestros, **Neftali J. Caicero Venancio** e **Ivanka S. Benitez Rivera**, por su increíble motivación y apoyo constante durante todas las sesiones de preparación para la competencia. Su orientación y dedicación han sido esenciales en nuestro camino hacia el éxito.

También queremos expresar nuestro agradecimiento al **Mtro. en Ing. Víctor J. Alvarado Martínez, ex Secretario del Medio Ambiente del Estado de Veracruz**, por concedernos una entrevista y brindarnos información valiosa sobre el tema, por responder con paciencia y amabilidad a todas nuestras preguntas. Su apoyo ha sido fundamental para darle enfoque a nuestra idea y hacer un análisis más profundo de nuestro proyecto.

Agradecemos a **todo el personal** de la **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales 1 “La Palma”** y de la **Central Hidroeléctrica “Texolo”**, por explicarnos detalladamente el funcionamiento de sus instalaciones y responder todas nuestras preguntas con paciencia y dedicación. Su compromiso y voluntad para compartir su experiencia y conocimientos con nosotros ha sido fundamental en nuestro aprendizaje.

Al **Ing. Rómulo Sánchez Velázquez, Director de la Agencia Estatal de Energía del Estado de Veracruz**, le agradecemos por su disposición para concedernos una entrevista y brindarnos información relevante sobre el tema. Su apoyo ha sido clave en nuestro proyecto.

Nos gustaría hacer una mención especial a nuestro compañero, **José María Federico Piñero**, que a pesar de que no pudo acompañarnos a las sesiones de forma presencial por algunas complicaciones de salud, siempre se mostró **pro-activo** al momento de trabajar y colaborar con todos nosotros.

Agradecemos enormemente a la **Lic. Jacqueline Alarcón**, Mamá de Camila, al **Lic. José Luis Navarrete**, Papá de Camila, y al **Mtro. Eduardo Contreras**, Papá de José Pablo, por su ayuda para hacer posible la visita a la **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales 1 (PTAR 1) "La Palma"** y la **Central Hidroeléctrica "Texolo"**, además de una entrevista con el **Director de Agencia Estatal de Energía del Estado de Veracruz**. También a la **Mtra. Esmeralda Domínguez**, Mamá de José Pablo, por conseguirmos una entrevista con el **ex Secretario de Medio Ambiente de Veracruz Víctor Alvarado**. Le agradecemos al **Ing. Oscar Sarabia**, Papá de Scarlett, al **Dr. Jesús Antonio**, Papá de Rodrigo y a **Concepción Cabrera Valcárcel**, Mamá de Rodrigo, por su amable colaboración en transportarnos de manera segura y eficiente a los diferentes lugares de documentación y aprendizaje. Estas experiencias y entrevistas fueron esenciales en nuestro aprendizaje y comprensión del tema.

Agradecemos al investigador **Dr. Rodolfo Landa H.** por su orientación en el proceso de estructuración de un artículo de investigación. Su experiencia y conocimientos en el tema han sido fundamentales para la realización de nuestro proyecto.

Por último, pero no menos importante, queremos expresar nuestro agradecimiento **a nuestros padres**, quienes nos han brindado un apoyo incondicional y motivación constante en todo momento. Gracias por su ayuda para conseguir los recursos necesarios y por transportarnos a los lugares necesarios para la investigación.

Una vez más, agradecemos a todos los mencionados anteriormente por su contribución y apoyo en el desarrollo de este proyecto. Sin su ayuda, no habríamos logrado llegar tan lejos.

¡Gracias de todo corazón!

Referencias

Acciona. (s. f.). *La importancia del tratamiento de agua* | ACCIONA | BUSINESS AS UNUSUAL. Recuperado 2 de marzo de 2023, de <https://www.acciona.com/es/tratamiento-de-agua/>

Central hidroeléctrica. (s. f.). Enel Green Power. Recuperado 11 de febrero de 2023, de <https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/energias-renovables/energia-hidroelectrica/central-hidroelectrica>

Central Hidroeléctrica. (s. f.). Endesa. Recuperado 3 de marzo de 2023, de <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-renovables/central-hidroelectrica>

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO I Y II. (s. f.). CMAS. Recuperado 4 de febrero de 2023, de <https://cmasxalapa.gob.mx/gom/wp-content/uploads/2018/11/DESCRIPCIÓN-DEL-PROCESO-DEL-TRATAMIENTO-DE-AGUAS-RESIDUALES..pdf>

Estadísticas de Capacidad Renovable 2020. (2020, 31 marzo). Recuperado 4 de febrero de 2023, de <https://www.irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020-ES>

HIDROELÉCTRICAS, ENERGÍA LIMPIA Y CONFIABLE PARA LA POBLACIÓN. (2022, 3 marzo). [Comunicado de prensa]. <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Boletines/boletin?i=2482>

Infraestructura, F. (2018, 25 junio). *Tratamiento de Aguas Residuales*. gob.mx. Recuperado 11 de febrero de 2023, de <https://www.gob.mx/fmt/acciones-y-programas/tratamiento-de-aguas-residuales-162692>

Objetivos de Desarrollo Sostenible | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo. (s. f.-a). UNDP. Recuperado 4 de febrero de 2023, de <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

Objetivos de Desarrollo Sostenible | Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo. (s. f.-b). UNDP. Recuperado 4 de febrero de 2023, de <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals/energia-asequible-no-contaminante>

¿Qué es y cómo funciona una central hidroeléctrica? (2021, 25 octubre). iAgua. Recuperado 11 de febrero de 2023, de <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-y-como-funciona-central-hidroelectrica>

SEMARNAT [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales] & CONAGUA [Comisión Nacional del Agua]. (s. f.). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Zonas Rurales, Periurbanas y Desarrollos Ecoturísticos*. Recuperado 2 de marzo de 2023, de <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro31.pdf>

Tipos de Tratamiento de Aguas Residuales. (2021, 3 septiembre). SPENA GROUP Tratamiento de Aguas Residuales. Recuperado 11 de febrero de 2023, de <https://spenagroup.com/tipos-tratamiento-agua-aguas-residuales/>

Tratamiento de Aguas Residuales - Concepto, plantas y etapas. (s. f.). Concepto. Recuperado

11 de febrero de 2023, de <https://concepto.de/tratamiento-de-aguas-residuales/>