

## **SISTEMA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE OZONO**

### **SYSTEM FOR THE CHARACTERIZATION OF OZONE CONCENTRATION**

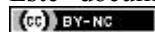
**Alejandro Rivas Gamallo<sup>1\*</sup>, Yamel Jesús Almeida Pichardo<sup>1</sup>, Luis Antonio Noa Llorens<sup>1</sup>, Angel Regueiro-Gómez<sup>1\*\*</sup>**

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Automática y Biomédica . Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (Cujae). Calle 114 No 11901 entre 119 y 127, Marianao, La Habana, Cuba.

\* [alejandri@automatica.cujae.edu.cu](mailto:alejandri@automatica.cujae.edu.cu)

\*\* [regueiro@automatica.cujae.edu.cu](mailto:regueiro@automatica.cujae.edu.cu)

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](#)



#### **Resumen**

La calidad del agua durante el consumo es de gran importancia para mantener una salud adecuada. Esta investigación propone el diseño de un sistema para la caracterización y medición de la concentración de ozono durante el proceso de potabilización del agua mediante el método de fotometría ultravioleta. Para ello se utilizan varios programas de aplicación que facilitan el trabajo de simulación y programación de cada bloque necesario en la investigación. A través de un método experimental se verifica el diseño propuesto basado en el uso de un microprocesador y se verifican estadísticamente los resultados obtenidos durante el desarrollo de un prototipo de laboratorio.

**Palabras clave:** calidad, concentración de ozono, ultravioleta

#### **Abstract**

The quality of water during consumption is of great importance to maintain adequate health. This research proposes the design of a system for the characterization and measurement of ozone concentration during the water purification process using the ultraviolet photometry method. For this, several application programs are used that facilitate the simulation and programming work of each block necessary in the investigation. Through an experimental method, the proposed design based on the use of a microprocessor is verified and the results obtained during the development of a laboratory prototype are statistically verified.

**Key words:** quality, ozone concentration, ultraviolet

#### **1. Introducción**

El agua es un recurso vital para la vida de los seres vivos en el planeta. En la Observación General (OG) 15 del Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de las Naciones Unidas, en el que se reconoce el agua como “un recurso natural limitado y un bien público fundamental para la vida y la salud. El derecho humano al agua es indispensable para vivir dignamente y es condición previa para la realización de otros derechos humanos” [1]. La sociedad recurre a este importante recurso natural para

generar y mantener el crecimiento económico y la prosperidad, a través de actividades tales como la agricultura, la pesca comercial, la producción de energía, la industria, el transporte y el turismo. La contaminación del agua y su escasez plantean amenazas para la salud humana y la calidad de vida, pero su incidencia va más allá. El libre flujo de un agua no contaminada resulta clave para el sostenimiento de los ecosistemas que de ella dependen, de ahí la importancia de mantener la calidad del agua para su uso y consumo, lo cual puede ser logrado por diversos métodos, entre ellos: la cloración, la ebullición, la filtración de sedimentos, la fotoemisión UV, la destilación y la ozonificación[2].

El ozono ( $O_3$ ) es una sustancia cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno, formada al disociarse los dos átomos que componen el gas de oxígeno. Cada átomo de oxígeno liberado se une a otra molécula de oxígeno gaseoso ( $O_2$ ), formando moléculas de ozono ( $O_3$ ).

A temperatura y presión ambientales es un gas de olor acre y generalmente incoloro, pero en grandes concentraciones puede volverse ligeramente azulado. Si se respira en grandes cantidades puede provocar una irritación en los ojos o la garganta, la cual suele pasar después de respirar aire fresco durante algunos minutos.

El ozono está presente en dos niveles de la atmósfera: en las proximidades del suelo, en la baja troposfera (capa que puede alcanzar hasta los 15 km de altura), y en niveles altos, en la estratosfera (con espesores típicos entre los 15 y los 50 km). En este último nivel forma una capa con elevadas concentraciones (máximo a los 25 km) que filtra los rayos ultravioletas dañinos para los seres vivos, evitando que alcancen la superficie terrestre. En estos niveles el ozono se forma principalmente por acción de la radiación solar sobre el oxígeno atmosférico (las moléculas de oxígeno se rompen en sus átomos que se recombinan posteriormente en forma de moléculas de ozono)[3].

En la literatura científica la primera mención acerca del ozono fue hecha por el físico holandés Mak Van Marum en 1785. Durante experimentos con una potente instalación para la electrificación descubrió que al pasar una chispa eléctrica a través del aire aparecía una sustancia gaseosa con olor característico, que poseía fuertes propiedades oxidantes[4] .

Las propiedades del ozono hacen de este un gas con un gran poder oxidativo, lo que lo convierte en un agente con una enorme capacidad para la eliminación de microbios y microorganismos patógenos como virus, bacterias, esporas y hongos. Sus propiedades desinfectantes y desodorizantes han hecho posible que se hayan desarrollado múltiples aplicaciones para su empleo comercial, tanto en el ámbito doméstico como en el empresarial e industrial[5]. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el ozono es el desinfectante más eficiente para todo tipo de microorganismos [6] y es muy empleado en el entorno clínico-hospitalario para diversas acciones entre ellas, la ozonoterapia, capaz de eliminar agentes patógenos (bacterias, hongos, etc.) en diversos tipos de enfermedades asociadas a los diferentes sistemas vegetativos en los seres vivos.

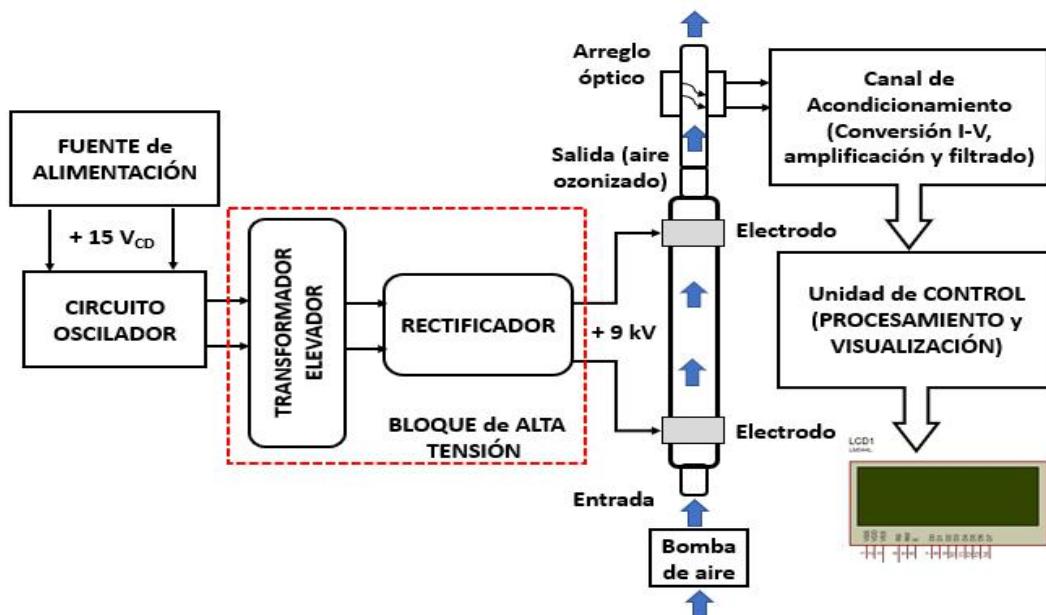
Generalmente los sistemas modernos para la generación de ozono, no disponen de la indicación de concentración generada, lo cual limita el empleo de este en aplicaciones biomédicas (purificación de agua para diversos procesos industriales y/o domésticos), de ahí el interés de desarrollar nuevas alternativas para su caracterización. En este trabajo se describen los avances preliminares en el diseño de un sistema para la caracterización continua de la [ $O_3$ ] durante la purificación de agua potable.

## 2. Materiales y Métodos

La figura 1 muestra la representación del sistema propuesto para la generación y caracterización de la concentración de Ozono a emplear en el proceso de purificación de agua potable en el Dpto. de Bioingeniería (CEBIO). Se aprecia la existencia de una sección de generación de alta tensión a partir de un circuito oscilador con acople de un transformador elevador para la obtención de alta tensión (9 kV)

necesario para la generación de ozono en el aire que atraviesa por el tubo de emisión proveniente de una bomba de aire.

A la salida del flujo de aire ozonizado se acopla un arreglo óptico para la detección de concentración de ozono (Bloque de transducción), cuya salida es conectada al canal de acondicionamiento encargado de la conversión I-V (Corriente-Tensión), amplificación y filtrado analógico de las señales obtenidas, y que se acopla a la etapa de conversión análogo-digital (A/D) en la unidad de control, procesamiento y visualización de la información, basada en el empleo de un microcontrolador (PIC18F4550).



**Fig.1 Representación en bloques del sistema para la caracterización de la [O3].**

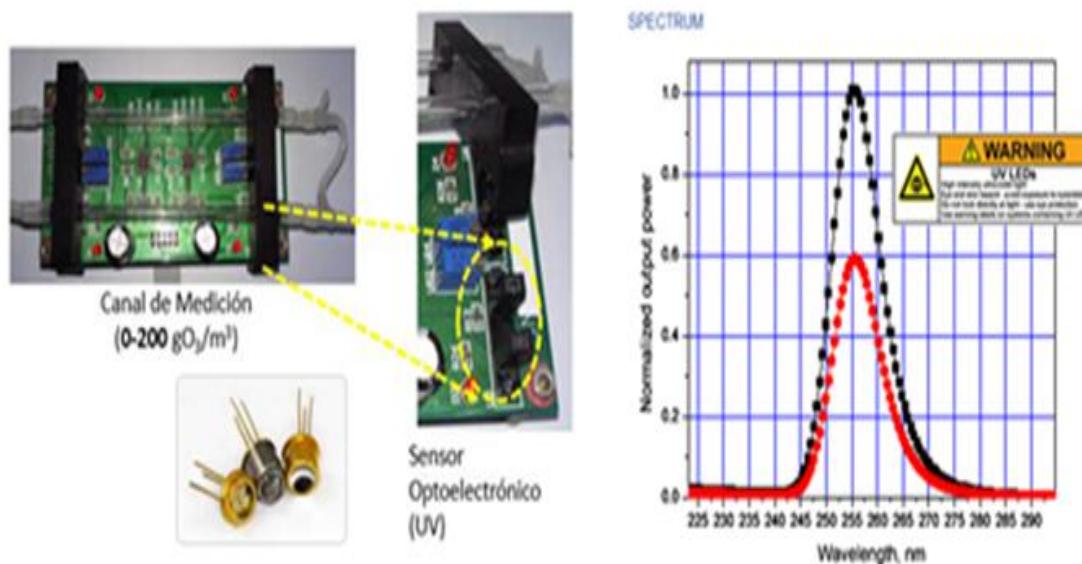
### 3. Resultados y Discusión

Durante el trabajo investigativo, se fue diseñando, simulando y verificando cada uno de los bloques propuestos, los cuales se muestran a continuación.

#### A. Etapa de transducción

El sistema propuesto (Fig. 2) emplea un arreglo óptico para la detección continua de la concentración de ozono en el aire que pasa por el tubo de ozonización (el aire viene desde una bomba de generación con un flujo constante).

En el arreglo óptico se emplea un LED UV que es capaz de transmitir una señal lumínica que será modulada por la concentración de aire ozonizado, y la señal resultante llegará al receptor que permite detectar los pequeños cambios de corriente en el mismo.



**Fig.2 Arreglo óptico en el empleo de LED UV.**

### B. Etapa de acondicionamiento

La figura 3 muestra la representación eléctrica del canal de acondicionamiento de la señal con ayuda de PROTEUS (V8.13). Para la simulación del arreglo óptico, se ha empleado un acoplador óptico que, a través del control de la distancia entre el emisor y el receptor, simula el cambio de concentración obtenido en el proceso de ozonización al paso del flujo de aire. La salida de este arreglo genera una pequeña corriente que circula por un convertidor corriente-tensión (conversión I-V) a través de un circuito operacional realimentado por un resistor (R22), que permite incorporar cierta ganancia en el proceso.

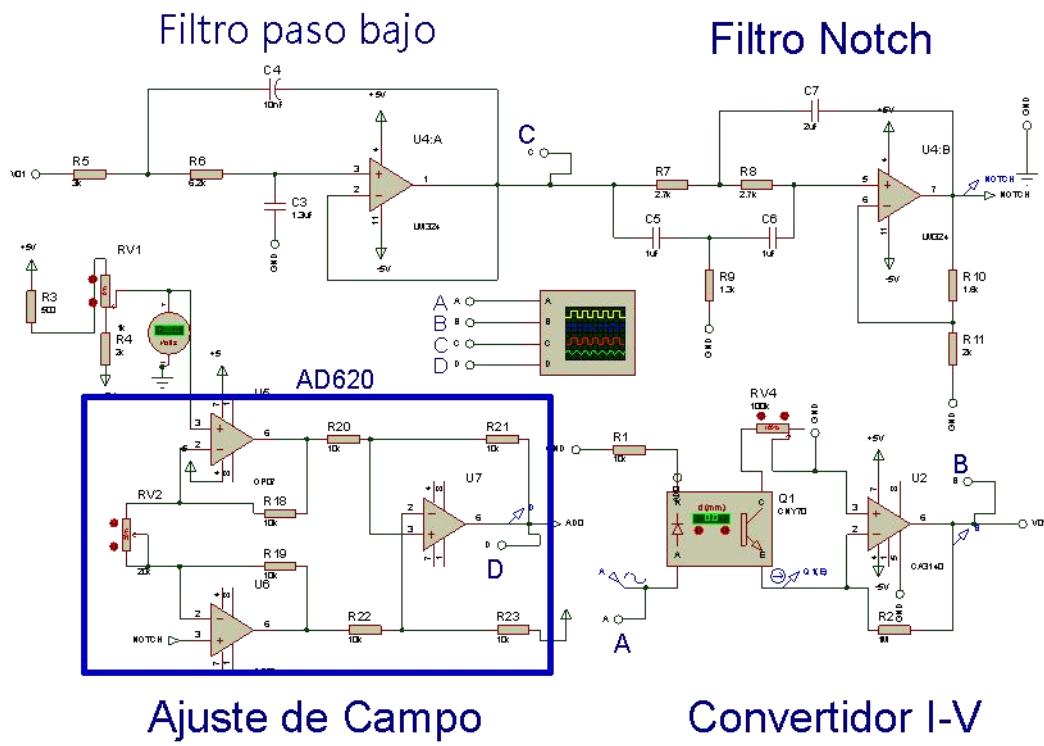


Fig.3 Representación eléctrica del canal de acondicionamiento de señal.

En la sección intermedia de la figura se aprecia el diseño de las etapas de filtrado, iniciando con una etapa paso bajo ( $f_c = 10$  Hz) y en cascada una etapa de filtro Notch para minimizar las interferencias acopladas de la red industrial (60 Hz y sus armónicos). La figura 4 muestra la respuesta de frecuencia del canal. La señal resultante del bloque de filtros se acopla a un bloque de ajuste de nivel, para garantizar el adecuado margen dinámico de entrada del convertidor A/D en el microcontrolador seleccionado.

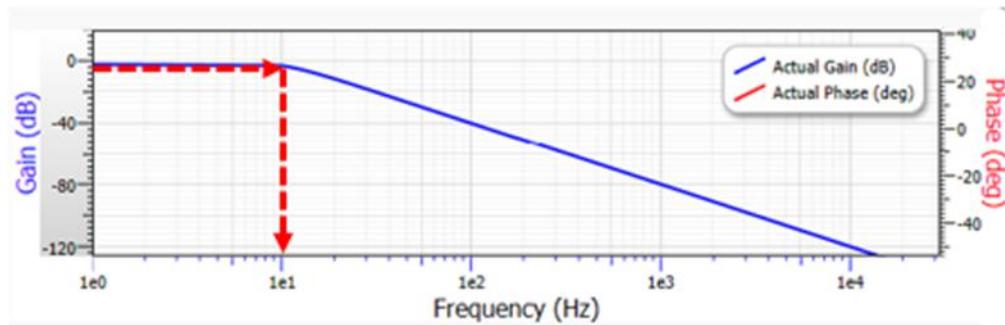
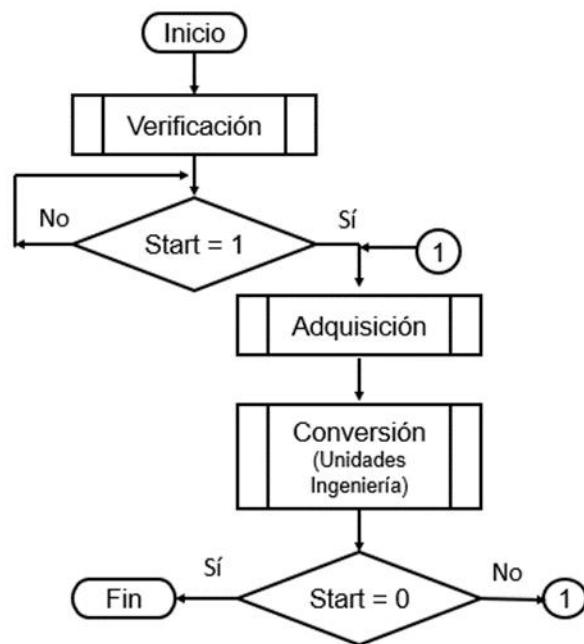


Fig.4 Respuesta de frecuencia obtenida por simulación con ayuda del utilitario FilterPro (Texas Instruments)

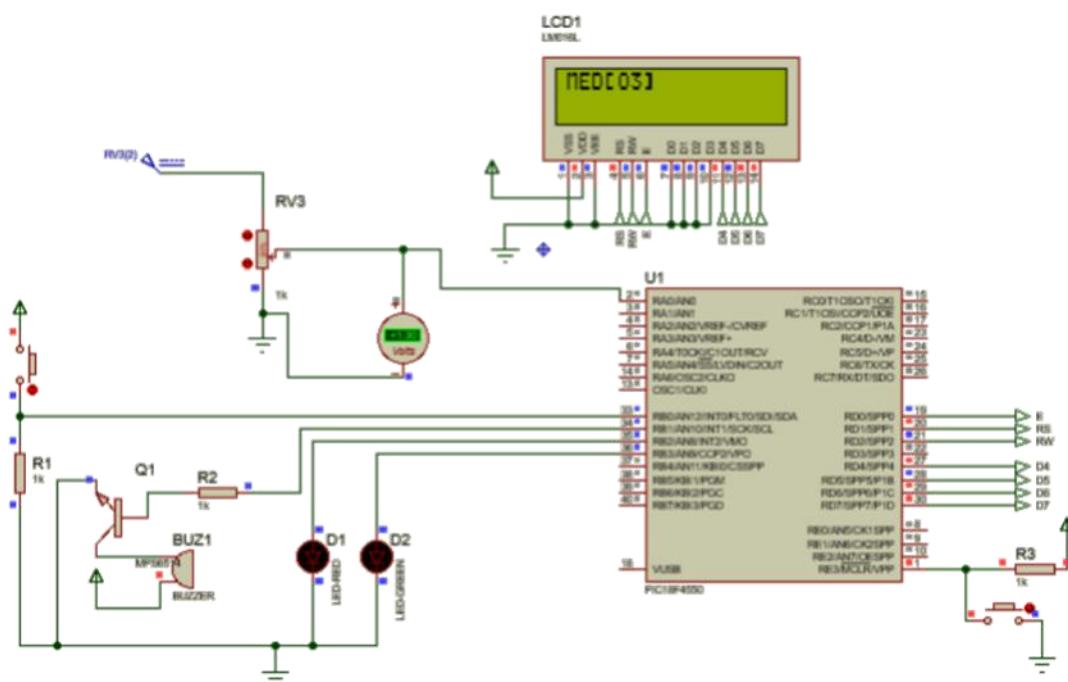
### C. Etapa de control y visualización

La figura 5 muestra el diagrama de flujo simplificado de las acciones que realiza la unidad de control y visualización. Inicialmente el sistema procede a realizar una comprobación inicial del diseño físico (chequeo de memoria, punteros, alarmas, puertos y visualizador) y si todo está adecuadamente, se vigila la tecla de inicio de medición (Start).

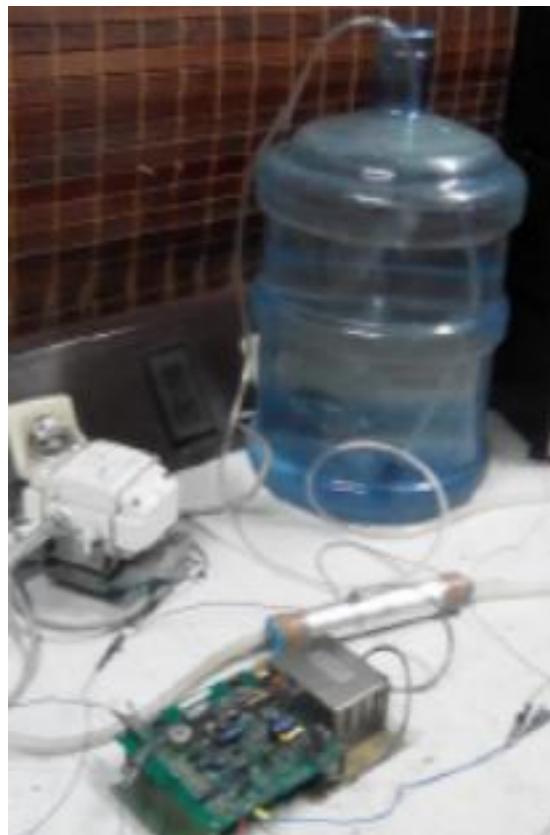


**Fig.5 Diagrama de flujo de la unidad de control, procesamiento y visualización.**

La rutina de adquisición permite la captura de la información con una frecuencia de muestreo ( $f_m=100$  Hz) obtenida a partir de la interrupción de uno de los contadores internos (Timer) del procesador. Al detectar la solicitud de interrupción asociada al fin de conversión, se lee el dato correspondiente y se desarrolla otra rutina que permite la conversión a unidades de ingeniería ( $gO_3/l$ ) para su posterior visualización (Fig. 6).



La figura 7 muestra el sistema propuesto durante las pruebas desarrolladas en laboratorio. La bomba (sección izquierda) permite impulsar el flujo de aire por el tubo de ozonización, el cual es excitado por una alta tensión generada por el bloque generador (9 kV) permitiendo con la conformación de ozono en el flujo de aire empujado hacia el reservorio de agua potable (botellón de 25 litros) a través de una manguera con un aditamento en su extremo final, que permite el burbujeo del gas ozonizado en el agua almacenada. Durante el tiempo de excitación, se puede detectar un olor característico del ozono generado y se percibe un cambio notable en el sabor del agua almacenada en el reservorio.



**Fig.7 Montaje experimental de prototipo en laboratorio.**

La figura 8 muestra el proceso desarrollado para la verificación preliminar de las muestras de agua ozonizadas, las cuales fueron estudiadas a partir de imágenes capturadas con un microscopio digital que permitió establecer comparaciones entre las muestras iniciales y las muestras obtenidas posterior al proceso de ozonificación (tiempo de exposición: 1 hora).



**Fig.8 Verificación preliminar de calidad de las muestras de agua tratada con ayuda de imágenes microscópicas.**



**Fig.9 Verificación preliminar de calidad de las muestras de agua ozonizada con ayuda de imágenes microscópicas. (izquierda) Imagen previa al tratamiento y (derecha) Resultado posterior al tratamiento.**

#### 4. Conclusiones

A partir de los resultados preliminares obtenidos a través del procesamiento empleado se puede obtener una cierta purificación del agua potable obteniéndose mejores resultados en proporción al tiempo del proceso de ozonificación de la muestra, lo cual debe ser considerado con los gastos que se pueda introducir en el sistema. La propuesta podrá ser implementada en un sistema portátil de uso clínico para condiciones de uso en campaña

A partir de los resultados obtenidos, hoy día se dispone de un proceso para el mejoramiento continuo de la calidad del agua potable que se ofrece en el área del Departamento de Bioingeniería, y se trabaja por el desarrollo de una unidad con mejores prestaciones (portabilidad, seguridad eléctrica, etc.) cuyo uso pueda ser generalizado en otras áreas de aplicación farmacológica e industrial.

## Referencias

- [1] O. d. N. Unidas, "Objetivos para el desarrollo sostenible (#6: Agua limpia y saneamiento), Agenda 2030-ONU," 2015.[Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>.
- [2] "10 Métodos de Purificación de agua altamente efectivos- Filtrashop." <https://filtrashop.com/10-metodos-de-purificacion-de-agua-mas-usados-y-efectivos/> (accessed).
- [3] A. Archibald et al., "Tropospheric Ozone Assessment ReportA critical review of changes in the tropospheric ozone burden and budget from 1850 to 2100," Elementa: Science of the Anthropocene, vol. 8, no. 1, 2020.
- [4] A. S. Tapia and G. Martínez-Sánchez, "La ozonoterapia y su fundamentación científica," Ozone Therapy Global Journal, vol. 2, no. 1, pp. 163-198, 2012.
- [5] M. B. Rubin, "The history of ozone. VII. The mythical spawn of ozone: ant ozone, ox ozone, and ozohydrogen," Bulletin for the History of Chemistry, vol. 34, no. 1, p. 39, 2009.
- [6] M. Fernández Cuadros, M. Albaladejo Florín, S. Álava Rabasa, D. Peña Lora, and O. Pérez Moro, "Ozono y COVID-19: bases fisiológicas y sus posibilidades terapéuticas según el estadio evolutivo de la infección por SARS-CoV-2," Revista de la Sociedad Española del Dolor, vol. 28, no. 1, pp. 27-36, 2021.