

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

La desinfección con radiación ultravioleta es un proceso físico que se emplea en el tratamiento de agua para inactivar microorganismos patógenos sin afectar las características físico-químicas de la misma. La seguridad de la desinfección UV se ha probado científicamente y es una alternativa eficaz y económica a la cloración, que no requiere la adición de agentes químicos. Al irradiar a los microorganismos presentes en el agua con radiación UV se provoca una serie de alteraciones en su material genético ADN, que impiden la división celular y causan, eventualmente, la muerte. El rango de radiación ultravioleta está situado en un extremo fuera de la onda larga (UV-A), también conocida como la radiación ultravioleta cercana, la onda media (UV-B), y onda corta (UV-C), son conocidas como UV lejana. La porción germicida de la banda de radiación UV esta entre 220 y 320 nm, principalmente en el rango UV-C. La radiación UV con propiedades más germicidas es aquella de longitud de onda de 254 nm. El ADN expuesto a esta energía presenta un máximo de absorción, es decir, de inactivación. La porción del espectro electromagnético en el que la radiación UV ocurre, (ver Figura 1.1), está entre 100 y 400 nm.

Como se ha mencionado, la radiación ultravioleta puede producir severas alteraciones en el ácido desoxirribonucleico (ADN) de los microorganismos. Algunos de los daños producidos por la radiación UV sobre este ácido incluyen la formación de dímeros o hidratos, desnaturalizaciones de la doble cadena del ADN e impedimento de la división celular.

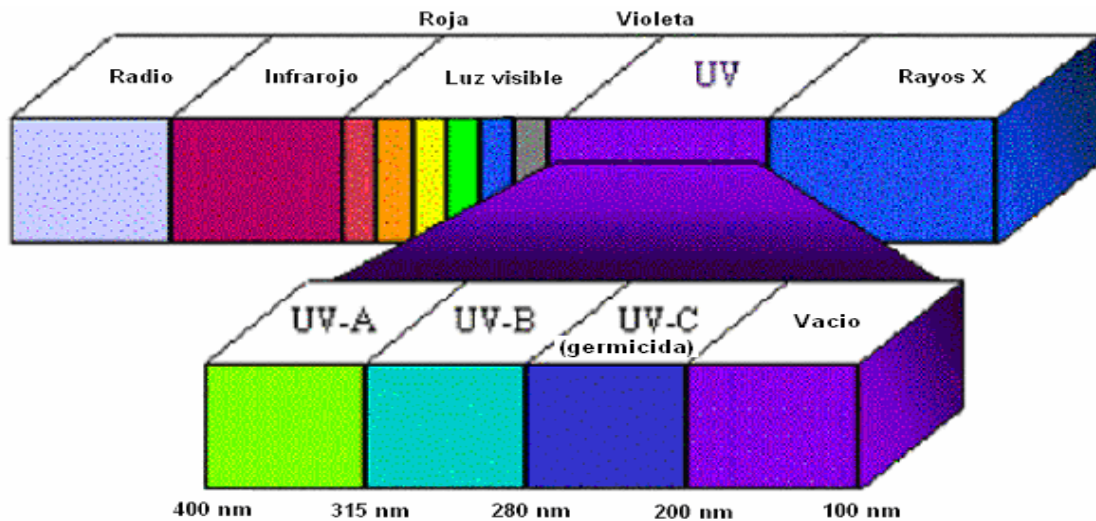


Figura 1.1 Identificación de la radiación UV como parte del espectro electromagnético.

Las aplicaciones prácticas de la radiación ultravioleta como desinfectante comenzaron en 1901 cuando se consiguió producir esta luz artificialmente. Esta técnica se consideró para la desinfección del agua para beber cuando se comprobó que el cuarzo era una de los pocos materiales casi totalmente transparente a la radiación ultravioleta, lo que permitió la envoltura protectora de las lámparas de UV. Los primeros intentos experimentales se llevaron a cabo en Marsella, Francia, en 1910. Entre 1916 y 1926, se usó UV en los Estados Unidos para la desinfección de agua y para proveer agua potable biológicamente segura a embarcaciones. Sin embargo, la popularidad del cloro y sus derivados, asociados a su bajo costo de aplicación, hicieron que se retardara la producción de equipos hasta la década de 1950 y más aún hasta la de 1970 en que las lámparas comenzaron a ser confiables y de vida prolongada.

La detección de los subproductos de la desinfección (SPD), sobretodo aquellos asociados a la desinfección con cloro, hicieron que numerosos sistemas remplazaran la

desinfección química por la desinfección con UV. A comienzos del nuevo siglo, en Europa existen unos 2,000 sistemas de tratamiento de aguas residuales que basan su proceso de desinfección en UV. A diferencia de la cloración, la desinfección con UV no produce SPD's (o al menos no se han detectado hasta ahora). Sin embargo, este proceso de desinfección también tiene desventajas importantes:

- La radiación UV no otorga ningún residual al agua tratada para protegerla de futuras contaminaciones en las redes de distribución o en las viviendas.
- La acción de desinfección puede verse comprometida por variables tales como la claridad del agua, la dureza, la longitud de las ondas de radiación UV o los cortes de energía.
- Requisitos de mantenimiento altos.
- Elevados costos de capital inicial.
- Elevados costos operativos (energía).
- Posibilidad de foto-reactivación.

A pesar de esto, la desinfección con radiación ultravioleta se ha venido utilizando ampliamente en los sistemas de abastecimiento de agua de pequeños establecimientos, como hospitales, industrias de alimentos y bebidas y hoteles.

Recientemente se ha incrementado su uso en la desinfección de efluentes de plantas de tratamiento de aguas y ha recobrado atención como desinfectante de pequeños sistemas de agua, debido a su capacidad para desinfectar sin producir cambios físicos o químicos notables en el agua tratada. Existen además en el mercado una amplia gama de equipos con

capacidades tan variadas que pueden emplearse en plantas de potabilización municipales o incluso a mucho menor escala en el hogar.

### **1.1 Desinfección química.**

Durante casi un siglo la cloración ha desempeñado una función crítica al proteger los abastecimientos de agua potable de las enfermedades infecciosas transmitidas por el consumo de agua contaminada. Se ha reconocido ampliamente a la cloración del agua potable como uno de los procesos que mayor impacto positivo haya tenido en la protección de la salud pública. La filtración y cloración han reducido de manera significativa las enfermedades transmitidas por agua, tales como el cólera, tifoidea, disentería y hepatitis A. En los Estados Unidos, más del 98% de los sistemas de abastecimiento que desinfectan el agua potable usan cloro debido a su potencial germicida, bajo costo y relativa eficiencia. Además, los desinfectantes basados en cloro son los únicos desinfectantes con propiedades residuales duraderas que previenen el recrecimiento microbiano en las redes de distribución y proporcionan protección continua durante la distribución de la planta de tratamiento al hogar. No obstante, el cloro tiene limitantes importantes y por ello se han explorado otras alternativas como la desinfección con ozono, dióxido de cloro o radiación ultravioleta. En general, las desventajas más importantes que presenta la desinfección con cloro son las siguientes:

- El cloro residual, aún a bajas concentraciones, puede resultar nocivo a los organismos acuáticos.

- Todas las formas de cloro son corrosivas y potencialmente tóxicas. Como consecuencia, el almacenamiento, el transporte y el manejo presentan riesgos cuya prevención requiere de normas estrictas de seguridad.
- El cloro oxida ciertos tipos de materiales orgánicos del agua residual generando compuestos más peligrosos., (por ejemplo trihalometanos).
- El cloro residual es inestable en presencia de altas concentraciones de materiales con demanda de cloro, por lo cual pueden requerirse mayores dosis para lograr una desinfección adecuada.
- Algunas especies parásitas muestran una casi nula susceptibilidad al cloro (los ooquistes de *Cryptosporidium parvum*, los quistes de *Giardia lamblia*, y huevos de helminto).

## **1.2 Mecanismos de inactivación de microorganismos patógenos y dosis de UV requeridas.**

La inactivación de un microorganismo con radiación UV se debe a la absorción directa que el ADN ofrece por la energía irradiada. La radiación UV sobre dos moléculas contiguas de timina (T) o citosina (C) de una misma cadena de ADN o ARN, formando moléculas dobles o dímeros, impide la duplicación del DNA y ARN de los microorganismos y por tanto su reproducción. Varios estudios han demostrado que, independientemente de la duración y la intensidad de la dosificación, si se suministra la misma energía total, se obtiene el mismo grado de desinfección. Pueden ocurrir procesos de reactivación y reparación mediante fotoreactivación a través de alguna enzima

fotoreactivadora que revierte la dimerización, partiendo otra vez el dímero que se obtuvo con la absorción del UV por los ácidos nucleicos.

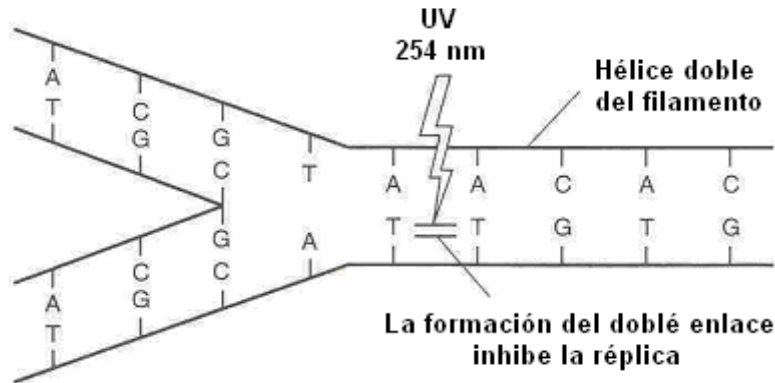


Figura 1.2 Alteraciones al ADN producidas por radiación UV-C.

La mayoría de los equipos de desinfección ultravioleta para agua utilizan una exposición mínima de  $30,000 \mu\text{Ws}/\text{cm}^2$ . Esta dosis es adecuada para inactivar bacterias, quistes y ooquistes de protozoarios y huevos de helminto, pero quizá no sea suficiente para ciertos virus patógenos, que pueden requerir hasta  $100,000 \mu\text{Ws}/\text{cm}^2$  para su inactivación total.

La efectividad de los procesos de desinfección UV depende en buena parte de las características de los microorganismos por inactivar tal como se muestra en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1 Eficiencia germicida de la radiación UV para diferentes tipos de microorganismos.

<b>Organismo</b>	<b>Dosis relativa a la dosis de coliforme total</b>
Bacteria:	
Coliforme Fecal	0.5-0.9
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1.5-2.0
<i>Salmonella typhosa</i>	0.7-0.9
<i>Staphylococcus aureus</i>	1.0-1.5
Coliforme Total	1
Virus:	
Adenovirus	0.7-0.9
Coxsackie A2	1.0-1.5
Polio tipo 1	0.9-1.1
MS-2 bacteriophage	0.9-1.0
Protozoarios	
<i>Acanthamoeba castellanii</i>	10-12
<i>Acanthamoeba cullbertsoni</i>	10-12
<i>Cryptosporidium parvum</i> ooquistes	0.2-0.4
<i>Giardia lamblia</i> quistes (a)	0.2-0.6

(a) De acuerdo en estudios de contagiosidad

En los siguientes capítulos se hace una breve descripción de los procedimientos necesarios para estudiar el proceso de desinfección de agua potable mediante radiación ultravioleta. Los reactores posteriormente descritos son de colimación y de flujo continuo.

Los métodos y técnicas utilizados para el desarrollo de esta tesis fueron, teoría de desinfección de agua potable y su aplicación, así como el diseño de reactores para caracterizar la hidrodinámica de los mismos.

Durante el proceso de esta tesis se construyó un reactor de colimación dejándose listo para ser usado en el laboratorio de Ingeniería Civil, específicamente para su uso en la clase de Agua Potable.

Una vez construido, se evaluó su funcionamiento mediante la estimación de la intensidad de la radiación por el método de actinometría química y se determinaron los tiempos de exposición y dosis necesarios para la inactivación de microorganismos patógenos presentes en el agua potable.

Se hicieron pruebas exploratorias durante el trabajo en laboratorio a dos microorganismos, esporas de *Bacillus subtilis* y *Staphylococcus aureus*, y se calcularon sus curvas de inactivación, el objetivo de estas pruebas fue determinar la eficiencia germicida del reactor de colimación construido.

Durante este proceso de desinfección se utilizó agua potable, no residual, esto es agua sintética, esterilizada, sin microorganismos, en la cual pudiéramos controlar el pH, dureza y algunas otras características relevantes del agua potable.

Como parte final de la tesis se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de actinometría y cálculo de dosis UV para el reactor de colimación y con ellos algunas recomendaciones para el uso de este método de desinfección de agua.