

# FOTOCATALISIS HETEROGENEA PARA LA DESINFECCIÓN DE AIRE EN AMBIENTES INTERIORES

Ariana Temporetti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Becaria CIN 2015- INTEC (UNL – CONICET).  
Estudiante de Ingeniería Ambiental (FICH – UNL) – Santa Fe, Argentina.  
arianatemporetti@hotmail.com

**Área temática:** Ingenierías  
**Sub-área:** Ambiental  
**Grupo:** X

---

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha crecido el interés público en aspectos que hacen a la contaminación del aire en ambientes interiores, sobre todo al confirmarse su efecto perjudicial sobre la salud. Muchos de los problemas de contaminación del aire en interiores involucran contaminantes de origen microbiológico (OSHA, 1999). Los bioaerosoles pueden producir enfermedades desde leves a muy graves. Por lo expuesto, se han registrado un gran número de investigaciones para el control de la contaminación microbiológica en ambientes interiores. La creciente demanda de la sociedad para la descontaminación del ambiente, ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías de purificación, que reemplacen o complementen a los procesos tradicionales de tratamiento. Los procesos convencionales, generalmente solo capturan y transfieren el contaminante biológico de una fase a otra.

Un proceso atractivo, que inactiva a los bioaerosoles presentes, es la fotocatalisis heterogénea. Existe muchas publicaciones sobre el efecto bactericida de la fotocatalisis utilizando dióxido de titanio para inactivar bacterias, hongos y virus (Vohra y colab., 2005, entre otros), sin embargo la gran mayoría de los trabajos son experimentales. Para el diseño de dispositivos de control basados en esta tecnología, el material soporte debe ser micro-poroso que permita la retención de los microorganismos aerotransportados y así facilitar el contacto con el catalizador y la radiación UV. Para implementar esta tecnología, se puede realizar la captura de las biopartículas aerotransportadas mediante el uso de superficies filtrantes de alta eficiencia (por ejemplo lana o fibras de vidrio), con el catalizador inmovilizado e irradiar la superficie de tal filtro con radiación UVA (filtración+fotocatalisis). Este trabajo es una primera aproximación para el diseño de un equipo de aplicación práctica.

## OBJETIVOS

El objetivo de este trabajo es el estudio de la fotocatalisis heterogénea aplicada en la desinfección de aire, utilizando la *Escherichia coli* como microorganismo modelo. Para tal fin se construye un fotorreactor de configuración simple de laboratorio para realizar un estudio cinético. A partir de aquí, realizar el modelo matemático del sistema y en conjunto con las corridas experimentales, determinar los parámetros cinéticos del proceso.

## METODOLOGÍA

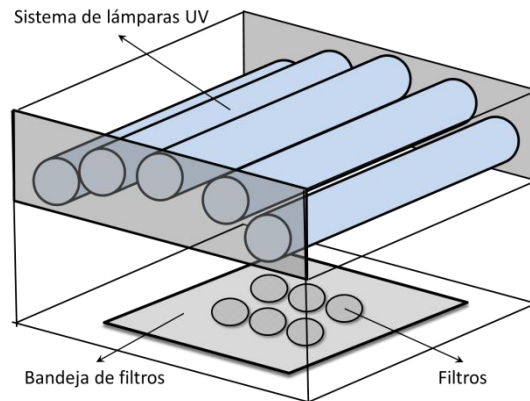
### Descripción del dispositivo y métodos utilizados

---

**Proyecto:** CAI+D 2011 PI 501 2011 01 00205 LI  
Descontaminación Química y Biológica de Aire y Agua empleando Procesos Avanzados de Oxidación.  
**Directora del proyecto y de la beca:** Dra. Labas, Marisol Daniela. **Co-Director:** Dr. Brandi, Rodolfo Juan

Para el estudio de la fotocatalisis heterogénea aplicada en la desinfección de aire se construyó un dispositivo que básicamente es un fotorreactor de configuración simple.

En la Figura 1 se presenta un esquema del dispositivo propuesto, que consiste en una caja metálica con una cara lateral abierta. En la base, se ubica una bandeja en la que se distribuyen los filtros con el catalizador depositado (dióxido de titanio Aeroxide P25) y el microorganismo (*E. coli* - ATCC 8739) disperso. En la parte superior de la caja se coloca el sistema emisor que consiste en un conjunto de lámparas UV actínicas (Sylvania F15W T12) que aportan un flujo de radiación incidente prácticamente uniforme sobre la bandeja.



**Figura 1:** Esquema del dispositivo de desinfección analizado.

En el dispositivo para el estudio cinético, se utiliza como material soporte pequeños filtros circulares de fibra de vidrio (Microclar, línea FFGF), sin agentes ligantes. La deposición del catalizador sobre los filtros se realiza por el método de inmersión. Para esto se sumergen los filtros en una suspensión de 100 g/L del catalizador contenida en un vaso de precipitado y finalmente se secan en estufa.

La siembra de microorganismos sobre los filtros se efectúa por el método básicamente consiste en tomar con una jeringa de tuberculina un volumen de 0,5 ml de solución de *E. coli* diluida y mediante goteo distribuirlo uniformemente en los filtros.

A continuación se realizaron un conjunto de corridas experimentales. Las corridas se inician con la preparación de los filtros más el catalizador y el depósito de los microorganismos sobre los filtros. Los filtros son distribuidos sobre la bandeja de muestras. Las lámparas son encendidas y a distintos tiempos se van retirando filtro por filtro, para su análisis. Este procedimiento permite seguir la reacción de desinfección a lo largo del tiempo. Para evaluar el efecto de la radiación UVA sola, también se irradian filtros con el microorganismo disperso, pero sin catalizador. Para la cuantificación de bacterias sobrevivientes, se utilizó un recuento en placa modificado.

### Modelado del dispositivo

La reacción de inactivación por fotocatalisis heterogénea ocurre sobre la superficie del filtro con depósito de catalizador dada la incidencia de la radiación UVA. El modelado matemático del sistema se efectúa mediante un balance de masa, específicamente de bacterias, en el volumen de control limitado por una frontera imaginaria que rodea al filtro circular. Durante el transcurso de una corrida no hay flujo de entrada ni salida, y bajo la hipótesis de una concentración superficial de bacterias homogénea sobre la superficie filtrante, El balance de bacterias es igual a:

$$\frac{dC_{Ec,Sup}}{dt} = R_{Ec,Sup} \quad (1)$$

Donde  $C_{Ec,Sup}$  es la concentración superficial de bacterias en UFC/cm<sup>2</sup> y la  $R_{Ec,Sup}$  es la velocidad de reacción superficial en UFC/(cm<sup>2</sup> s).

Del análisis de la forma de las curvas de inactivación obtenidas experimentalmente se propuso una velocidad de reacción de pseudo-primer orden del tipo:

$$R_{Ec,Sup} = -K' C_{Ec,Sup} = -(k q_{inc}) C_{Ec,Sup} \quad (2)$$

En la ecuación:  $K'$  es la pseudo-constante de primer orden en  $s^{-1}$ , que depende del flujo de radiación incidente sobre la bandeja  $q_{inc}$  en  $W/cm^2$  y  $k$  es la constante cinética en  $cm^2/J$ . La solución del balance de las bacterias sobre el filtro usando  $TiO_2+UV$  es:

$$\ln\left(\frac{C_{Ec,Sup}}{C_{Ec,Sup}^0}\right) = -K'_{fotoc} t = -k_{fotoc} q_{inc} t \quad (3)$$

Asimismo, para la reacción de UVA, el sistema se modela con la siguiente ecuación:

$$\frac{dC_{Ec,Sup}}{dt} = -K'_{UVA} C_{Ec,Sup} = -(k_{UVA} q_{inc}) C_{Ec,Sup} \quad (4)$$

Cuya solución es:

$$\ln\left(\frac{C_{Ec,Sup}}{C_{Ec,Sup}^0}\right) = -K'_{UVA} t = -k_{UVA} q_{inc} t \quad (5)$$

Donde los parámetros cinéticos a determinar son  $K'_{fotoc}$  y  $K'_{UVA}$  como  $k_{fotoc}$  y  $k_{UVA}$ .

## RESULTADOS

### Estimación de los parámetros cinéticos

De los resultados de las corridas experimentales y los modelos propuestos, se estimaron los valores de las pseudo-constantes de primer orden de ambas reacciones: utilizando UVA sola (utilizando filtros sin catalizador) y UVA+ $TiO_2$ .

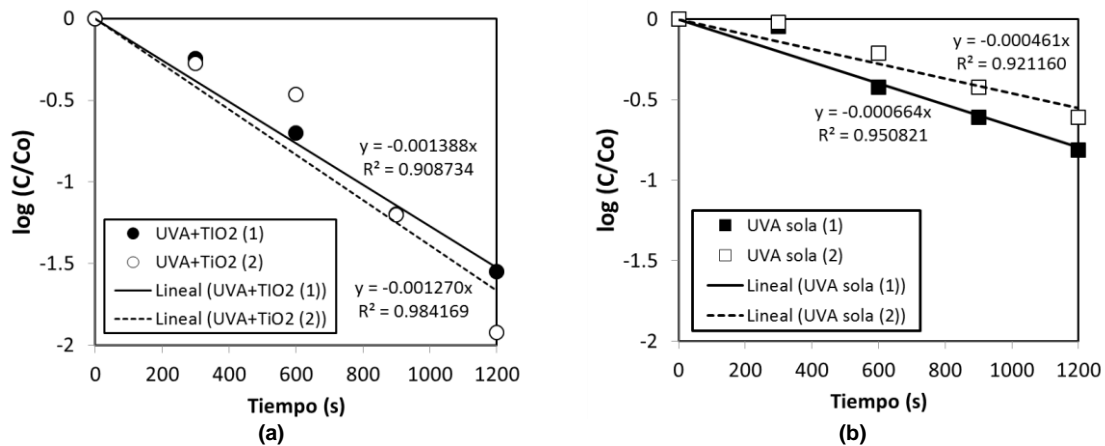
En la Figura 2a se muestran los puntos experimentales de dos corridas utilizando UVA+ $TiO_2$ . Estos puntos representan la evolución en el tiempo de las bacterias sobrevivientes en la superficie del filtro. Sobre los puntos experimentales se presentan los resultados del modelo, mediante las rectas del ajuste lineal. Entre las dos corridas hay una mínima diferencia entre las pendientes calculadas. En la Figura 2b se muestran los puntos experimentales de dos corridas utilizando UVA sola y los resultados del modelo.

Claramente, comparando las pendientes de las gráficas, puede verse que la velocidad de inactivación con  $TiO_2+UVA$ , fue más del doble que para las corridas utilizando UVA. Una vez obtenidas las pseudo-constantes, se realizó la estimación de las constantes cinéticas a partir del dato de flujo de radiación incidente.

La radiación incidente sobre la superficie de los filtros fue medida con un radiómetro IL 1700 (International light) con un sensor SED005/WBS320. Las mediciones demostraron una buena uniformidad del flujo incidente sobre la bandeja. El valor promedio del flujo de radiación fue de  $24.15 W/m^2$ .

También es posible determinar la dosis de radiación necesaria para que la concentración superficial de bacterias disminuya en un orden ( $D_{90}$ ). Para estimarla se utilizan las constantes cinéticas obtenidas del modelo, con la expresión:

$$D_{90} = \frac{2.3026}{k} \quad (6)$$



**Figura 2.** Corridas experimentales y resultados del modelo obtenidos mediante el ajuste lineal, para los procesos de desinfección de aire mediante: **(a)** UVA+TiO<sub>2</sub> y **(b)** UVA sola.

En la Tabla 1, se resumen los parámetros obtenidos y las dosis calculadas.

**Tabla 1.** Constantes cinéticas y dosis obtenidas usando UVA/TiO<sub>2</sub> y UVA sola.

PROCESO	K' (min <sup>-1</sup> )	k (cm <sup>2</sup> /J)	D <sub>90</sub> (J/cm <sup>2</sup> )
UVA+TiO <sub>2</sub>	<b>0.184</b> (0.175–0.192)	<b>1.263</b> (1.201–1.325)	<b>1.83</b> (1.74–1.92)
UVA	<b>0.078</b> (0.064–0.092)	<b>0.534</b> (0.439–0.629)	<b>4.46</b> (3.66–5.25)

Puede verse que los valores de las dosis son relativamente elevados, lo que significa que las bacterias deben estar expuestas durante un largo periodo para niveles de radiación típicos brindados por lámparas tubulares UVA. A manera de comparación, una dosis para bajar un orden la población bacteriana utilizando UV germicida sobre superficie según bibliografía (Kowalski, 2009) es de 0.0022 J cm<sup>-2</sup>, para la misma bacteria, es decir que con UVC sola la inactivación es más de 800 veces más rápida. De todas formas la fotocatalisis heterogénea demostró ser mucho más efectiva que la radiación UVA sola y el proceso es viable mientras las bacterias tengan un tiempo de residencia suficiente sobre el filtro, para ser inactivadas.

## CONCLUSIONES

Desde las corridas experimentales pudo determinarse que la velocidad de desinfección puede modelarse con una expresión cinética sencilla. Se obtuvieron las constantes cinéticas del proceso, demostrando ser más del doble más rápida la fotocatalisis que la radiación UVA sola. También se ha evaluado la dosis de radiación requerida para bajar un orden la población microbiana (D<sub>90</sub>) que fue de 1.83 J cm<sup>-2</sup> para UVA+TiO<sub>2</sub> y de 4.46 J cm<sup>-2</sup> para UVA sola. Los resultados demuestran que la fotocatalisis es un proceso viable para la desinfección del aire.

El presente estudio está destinado a ser el inicio para el diseño de un dispositivo que usa un proceso combinado de filtración+ fotocatalisis.

## BIBLIOGRAFÍA

- OSHA, O. S. 1999. OSHA Technical Manual - Section III: Chapter 2: Indoor Air Quality.  
 Vohra A., Goswami D.Y., Deshpande D. A., Block S. S. 2005. Enhanced photocatalytic inactivation of bacterial spores on surfaces in air. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 32: 364–370.  
 Kowalski, K. 2009. Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook. Springer.