

Contaminación Atmosférica e Hídrica en Argentina

Tomo V



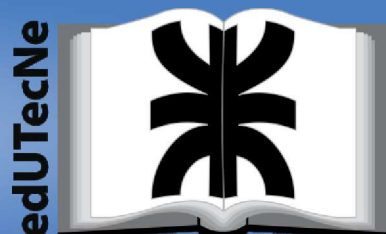
Grupo de Estudios
de Medio Ambiente



CiN REUN
Red de Editoriales
de Universidades Nacionales
de la Argentina



Libro
Universitario
Argentino



A stylized graphic of a face, composed of several curved, overlapping bands in shades of blue, yellow, and green. The bands form the outline of the face, with a small blue circle representing the eye. The text is centered over this graphic.

**CONTAMINACIÓN
ATMOSFÉRICA E
HÍDRICA EN ARGENTINA**

TOMO V

2019

Contaminación Atmosférica e Hídrica en Argentina Tomo V : Contribuciones del VII Congreso PROIMCA y V Congreso PRODECA / Maria Cecilia Panigatti ... [et al.] ; contribuciones de Maria Celeste Schierano ; Carina Andrea Griffa ; compilado por Maria Cecilia Panigatti ; Rosana Boglione. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : edUTecNe, 2020.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-4998-41-5

1. Atmósfera. 2. Contaminación Atmosférica. 3. Contaminación del Agua. I. Panigatti , Maria Cecilia II. Schierano, Maria Celeste, colab. III. Griffa , Carina Andrea, colab. IV. Panigatti, Maria Cecilia, comp. V. Boglione, Rosana, comp.

CDD 577.276



Universidad Tecnológica Nacional – República Argentina Rector:

Ing. Hector Eduardo **Aiassa**

Vicerrector: Ing. Haroldo **Avetta**

Secretaria Académica: Ing. Liliana Raquel **Cuenca Pletsch**

Secretaria Ciencia, Tecnología y Posgrado: Dr. Horacio **Leone**



Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Rafaela

Decano: Ing. Oscar **David**

Vicedecano: Ing. Miguel Angel **Crispin**

Secretario de Ciencia y Tecnología y Posgrado: Ing. Marcelo **Laorden**

Programa de Medio Ambiente, Contingencias y Desarrollo Sustentable Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado

Grupo de Estudios de Medio Ambiente - GEM - Facultad Regional Rafaela



edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional

Coordinador General a cargo: Fernando H. **Cejas**

Área de edición y publicación en papel: Carlos **Busqued**

Colección Energías Renovables, Uso Racional de Energía, Ambiente: Dr. Jaime **Moragues**.

Queda hecho el depósito que marca la Ley Nº 11.723

© **edUTecNe, 2020**

Sarmiento 440, Piso 6 (C1041AAJ) Buenos Aires,

República Argentina

Publicado Argentina – Published in Argentina

ISBN 978-987-4998-22-4



Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

FOTOCATALISIS HETEROGÉNEA PARA LA INACTIVACIÓN DE BIOAEROSOLES EN AMBIENTES INTERIORES

Flores, M.¹; Rossenberg, N.²; Brandi, R.^{1,2}; Labas, M.^{1,2}

1: Grupo de Fotorreactores
Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC)
UNL-CONICET
Güemes 3450, 3000 Santa Fe
e-mail: mflores@intec.unl.edu.ar

2: Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas
Universidad Nacional del Litoral
Ciudad Universitaria, Paraje el Pozo, 3000 Santa Fe
e-mail: mlabas@santafeconicet.gob.ar
e-mail: rbrandi@santafeconicet.gob.ar

Resumen. *La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud y es un problema creciente, especialmente en países en desarrollo. La Organización Mundial de la Salud estimó que una de cada nueve muertes en todo el mundo es el resultado de condiciones relacionadas con la contaminación atmosférica. Últimamente, ha crecido el interés en aspectos que hacen a la contaminación del aire interior, principalmente los que involucran contaminantes de origen microbiológico, conocidos como “bioaerosoles” debido al riesgo que implican para la salud al encontrarse presentes en la mayoría de los entornos cerrados. Este problema ha impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías de purificación, que reemplacen o complementen a los procesos tradicionales de tratamiento. Un proceso atractivo de inactivación de bioaerosoles, es la fotocatalisis heterogénea. Estos procesos se basan en la irradiación con luz UV de suspensiones de óxidos semiconductores como el dióxido de titanio, TiO₂, en presencia de las especies contaminantes a degradar. El objetivo principal de este trabajo es el estudio y desarrollo de procesos de inactivación de microorganismos aerotransportados patógenos utilizando filtros de aire absolutos con un fotocatalizador soportado en combinación con radiación UV. Para tal fin se utiliza un fotorreactor de configuración simple de laboratorio. Se aplicaron distintas variantes para determinar el número adecuado de depósitos sobre el soporte filtrante, la duración del ensayo, la dispersión del microorganismo utilizado y el método de recuento de los mismos. Se obtuvieron altas tasas de inactivación (99,9%) en bajos tiempos de contacto (25 minutos). Los resultados demuestran que la fotocatalisis es un proceso viable para la desinfección del aire interior. La utilización de esa técnica permitirá realizar ensayos en los que se puedan determinar los parámetros cinéticos de la desinfección, los que pueden ser utilizados para el desarrollo de dispositivos que posibiliten la descontaminación del aire de espacios interiores.*

Palabras clave: Fotocatálisis, Inactivación, Bioaerosoles, Radiación UV

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud y es un problema creciente, especialmente en países en desarrollo. La Organización Mundial de la Salud estimó que una de cada nueve muertes en todo el mundo es el resultado de condiciones relacionadas con la contaminación atmosférica (WHO, 2016). La exposición a contaminantes del aire puede causar diversos efectos en la salud dependiendo de su composición (variedad de partículas y gases), el nivel de exposición, duración y frecuencia de exposición y la toxicidad asociada del contaminante específico. Estas exposiciones se asocian con una amplia gama de efectos agudos y crónicos sobre el bienestar de las personas, que varían desde los efectos subclínicos hasta la mortalidad prematura (Arnold, 2014; Calderón-Garcidueñas et al., 2015). Los bioaerosoles son contaminantes transportados por el aire y su presencia es asociada a la contaminación de aire en interiores. Los bioaerosoles son partículas que contienen uno o más compuestos de origen biológico, incluyendo bacterias y hongos, esporas bacterianas y fúngicas, ácaros, toxinas de origen microbiológico, virus, granos de polen y algas, entre otros (Blais-Lecours et al., 2015; Ghosh et al., 2015; Perrino y Marcovecchio, 2016). Los aerosoles bacterianos y fúngicos son señalados como los bioaerosoles más importantes, debido al riesgo que implican para la salud (afectan tanto el sistema respiratorio superior como el inferior) y constituyen una parte inseparable de las sociedades humanas ya que se encuentran presentes en la mayoría de los entornos cerrados.

En Argentina, las infecciones respiratorias agudas (IRAs) constituyen una importante causa de morbimortalidad, fundamentalmente entre los niños menores de cinco años y las personas de mayores de 65 años o que presentan ciertas condiciones que aumentan el riesgo para desarrollar complicaciones que pueden derivar en formas graves. De acuerdo al Ministerio de Salud de la Nación, todos los años se verifica un progresivo aumento de los casos de IRAs en nuestro país. Dicho aumento se asocia con un incremento en la demanda de atención, el número de hospitalizaciones y la mortalidad por causas respiratorias (MSN, 2017). La contaminación en interiores por bioaerosoles, al estar asociados a los espacios cerrados, se acentúa más en ambientes hospitalarios dada la presencia de personas enfermas y la fácil dispersión de estas biopartículas. Las infecciones intrahospitalarias (IHAs) afectan anualmente al 5-10% de todas las hospitalizaciones. Se registran, cada vez con más frecuencia, brotes hospitalarios y asociados a patógenos que habitualmente no son aéreos, como *Serratia marcescens* o *Staphylococcus aureus*, causados por fallos de ventilación.

Entre los métodos de control más utilizados tradicionalmente se encuentran métodos netamente físicos como la dilución y la filtración. Ningunos de estos procesos son destructivos, no inactivan a los microorganismos y solo los cambian de medio. En la actualidad, se está llevando a cabo un importante esfuerzo para encontrar tecnologías que mantengan los ambientes cerrados libres de biopartículas patógenas para asegurar la salud de los habitantes. La tendencia actual es desarrollar otros métodos de descontaminación ambiental, de fácil implementación y amigables con el ambiente. Dentro de estas tecnologías novedosas se encuentra la fotocatalisis heterogénea. La fotocatalisis con dióxido de titanio (TiO_2) ha generado gran interés como una nueva alternativa para la desinfección fotocatalítica del aire, debido a que el TiO_2 al absorber la luz ultravioleta, genera especies oxidantes tales como peróxido ($\text{HO}_2\bullet$), hidroxilo ($\bullet\text{OH}$), y superóxido ($\text{O}_2\bullet^-$), útiles en la inactivación de

microorganismos (Coleman et al., 2005; Rincón y Pulgarín, 2004; Sichel et al., 2007). Se ha reportado que el radical que genera mayor incidencia en la desinfección de poblaciones bacterianas es el $\bullet\text{OH}$ (Srinivasan y Somasundaran, 2003), el cual actúa como iniciador de una serie de reacciones en cadena conocidas como peroxidación lipídica que generan la descomposición de los ácidos grasos poliinsaturados (AGP), que les dan fluidez e integridad estructural a las células. Esta desestabilización da lugar al desmoronamiento de la estructura de la membrana celular que conduce a una pérdida de permeabilidad, resistencia mecánica, movilidad y fluidez de la membrana y, consecuentemente, a lisis y muerte bacteriana. Existe en estos últimos años un incremento significativo de publicaciones sobre el efecto bactericida de la fotocatalisis utilizando dióxido de titanio para inactivar bacterias, hongos y virus (Pablos et al., 2013; Rossenberg et al., 2018), sin embargo, la gran mayoría de los trabajos son netamente experimentales. Por otro lado, son muy escasos los trabajos en los que se propongan métodos de captura de los bioaerosoles y someterlos al proceso de fotocatalisis en el interior de un dispositivo. Mucho menos son los trabajos que se encargan de diseñar y modelar estos dispositivos.

Dentro de este marco, el objetivo general del presente trabajo es el estudio experimental y desarrollo de un proceso eficiente para la inactivación de microorganismos aerotransportados a fin que puedan ser utilizados en futuras aplicaciones en combinación con sistemas de ventilación y/o purificación de aire en ambientes interiores.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Material de soporte y deposición del catalizador

Como soporte del microorganismo se utilizaron filtros absolutos para aire (Casiba), los cuales están compuestos por microfibras de vidrio extrafina resistente a la humedad. La eficiencia de filtrado se encuentra entre 95 y 99,99% para partículas de $0,3\ \mu\text{m}$, por lo que se utilizan en áreas limpias, ambientes controlados, instalaciones de aire acondicionado central y ventilación industrial de alta calidad de filtración de aire. Los filtros se comercializan en un soporte metálico, por lo tanto, se separaron y fraccionaron en un tamaño de $5\ \text{cm} \times 2\ \text{cm}$ para su utilización en el presente trabajo.

Se utilizó TiO_2 Aeroxide P25 (Sigma-Aldrich) como catalizador. El mismo posee $35\text{-}65\ \text{m}^2\text{g}^{-1}$ de superficie específica y un tamaño de partícula de $21\ \text{nm}$. El dióxido de titanio P25 posee una combinación única de las estructuras cristalinas anatasa y rutilo, lo que lo vuelve adecuado para muchas aplicaciones fotocatalíticas.

La deposición del catalizador sobre la superficie de los filtros se realizó mediante la técnica de inmersión (*dipcoating*), debido a que dicha técnica es eficiente para realizar depósitos de TiO_2 sobre filtros. Los filtros fueron sumergidos durante 1 minuto en una solución de 1 g de TiO_2 en 100 mL de agua destilada. El secado se realizó en estufa a 60°C durante 1 hora.

2.2. Siembra del microorganismo modelo

Como microorganismo modelo se utilizó *Escherichia coli* ATCC 8739, un bacilo gramnegativo de la familia de las enterobacterias. Este microorganismo es ampliamente utilizado a nivel global en diversos tipos de investigaciones debido a su fácil manipulación, es fácil de cultivar, no requiere grandes cantidades de energía y no demanda condiciones de vida sofisticadas.

Para cada ensayo experimental se realizó un cultivo del microorganismo utilizando caldo nutritivo (Biokar), que es un medio no selectivo utilizado para el desarrollo de microorganismos con escasos requerimientos nutricionales. Está compuesto por triptona (10 g L^{-1}), extracto de carne (5 g L^{-1}) y cloruro de sodio (5 g L^{-1}).

El cultivo se colocó en estufa a 37°C durante 22 horas, pues previamente se determinó mediante la construcción de una curva de crecimiento que es a este tiempo cuando la bacteria inicia la fase exponencial (Flores, 2014). La fase exponencial se corresponde con el máximo crecimiento del microorganismo, antes de que comience la fase de decaimiento por agotamiento de los recursos.

Este cultivo se utilizó para realizar diluciones seriadas en tubos con 9 mL de agua de peptona (Biokar), que funciona como diluyente y medio de enriquecimiento no selectivo. Está compuesto por peptona de carne (10 g L^{-1}) y cloruro de sodio (5 g L^{-1}).

Utilizando una micropipeta con punta estéril, se tomó 1,0 mL del cultivo de *E. coli* y se transfirió al primer tubo (dilución 1/10). La suspensión se mezcló utilizando un vórtex durante unos segundos. Con una nueva punta estéril de micropipeta, se transfirió 1,0 mL al siguiente tubo de dilución (dilución 1/100) y se mezcló en vórtex. Este procedimiento se repitió hasta obtener una dilución de 1/100000.

Para realizar la siembra del microorganismo en cada filtro se tomó 0,1 mL de la dilución elegida con una jeringa descartable de tuberculina y se colocó sobre la superficie del filtro en forma de pequeñas gotas.

2.3. Dispositivo Experimental

Se utilizó un fotorreactor simple para realizar los ensayos experimentales (Figura 1). El mismo posee forma de caja y sus caras laterales son abiertas. En su parte superior dispone de un sistema emisor, el cual consiste en cinco lámparas UV-A actínicas (Sylvania F15W T12, 15 Watts) con $\lambda_{\text{max}} = 365 \text{ nm}$ que aportan un flujo de radiación incidente uniforme sobre una bandeja que se encuentra en la base.

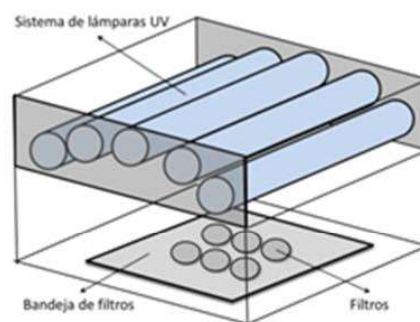


Figura 1. Fotorreactor

El dispositivo experimental se encuentra contenido en un flujo laminar (Casiba HL) para evitar contaminaciones aéreas cruzadas.

2.4. Ensayo Experimental

Los filtros con el catalizador depositado y el microorganismo disperso en su superficie son distribuidos sobre la bandeja de la base metálica. Una vez colocados, se encendieron las lámparas del fotorreactor y se inició el ensayo experimental. Los filtros se fueron retirando a distintos tiempos. Este procedimiento permitió seguir la reacción de desinfección a lo largo del tiempo. Para estudiar la fotólisis también se irradiaron filtros con el microorganismo disperso, pero sin catalizador. En cada ensayo se utilizaron, en total, 20 filtros. Durante el transcurso del ensayo, los filtros se fueron humedeciendo con solución fisiológica estéril cada 2 minutos en promedio, a fin de evitar muerte de los microorganismos por desecación. Se realizaron ensayos de 30 minutos de duración. Esto permitió seguir la inactivación bacteriana mediante fotocatalisis y fotólisis a lo largo del tiempo. Para determinar el efecto de la intensidad de radiación en los procesos se realizaron 3 experiencias con diferente intensidad de radiación que fue medida utilizando un radiómetro (Ocean Optics USB 2000+).

2.5. Recuento de colonias

Para favorecer el desarrollo de únicamente colonias de *E. coli* en la superficie de placas de Petri y filtros se utilizó Levine EMB (agar eosina azul de metileno) (Peptona 10 g L⁻¹, sacarosa 5 gL⁻¹, lactosa 5 gL⁻¹, fosfato dipotásico 2 g L⁻¹, eosina 0.4 g L⁻¹, azul de metileno 0,065 g L⁻¹, agar 13,5 g L⁻¹) (Biokar) como medio de crecimiento. Este es un medio selectivo y diferencial, adecuado para el crecimiento de enterobacterias. Se utilizó este medio debido a que muchas cepas de *E. coli* presentan un característico brillo metálico cuando crecen en él.

Para estudiar la inactivación de *E. coli* a lo largo del tiempo, es necesario poder contabilizar el número de colonias en los filtros. Se cubrió la superficie de cada filtro con EMB líquido utilizando una micropipeta estéril. El recuento de las colonias en las placas y los filtros se realizó luego de 24/48 horas de incubación en estufa a 37°C.

Por otro lado, para determinar la concentración inicial de bacterias se optó por la técnica de recuento en placa por siembra en superficie. Este método ofrece la ventaja de cuantificar únicamente los microorganismos viables presentes en términos de unidades formadoras de colonia (UFC) por centímetro cuadrado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizan ensayos experimentales por triplicado, variando la intensidad de radiación modificando el número de lámparas encendidas. Se sembró el microorganismo modelo sobre filtros con y sin depósito de TiO₂ y los mismos fueron sometidos, en condiciones controladas, a la acción de la radiación UV. Los ensayos de inactivación pueden observarse en la Figura 2, con líneas de puntos y rayas se representan las líneas de tendencia.

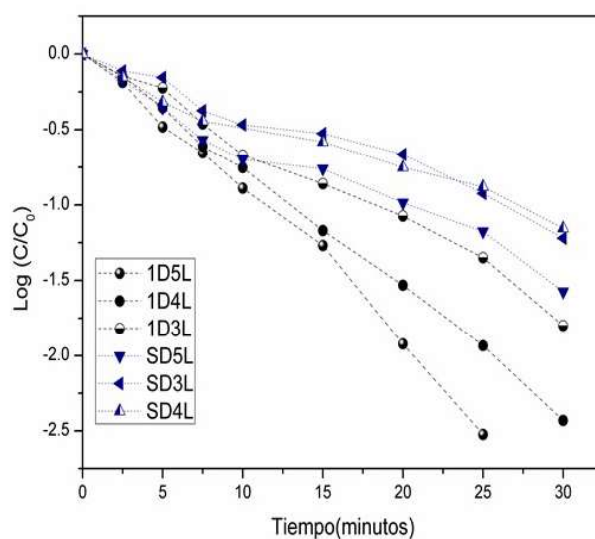


Figura 2. Ensayos de inactivación sobre filtros con depósito (negro; líneas de rayas) y sin depósito (azul, líneas de puntos). Siendo 1D: depósito de TiO_2 y S/D sin depósito

La Figura 2 muestra que para las condiciones estudiadas (5, 4 y 3 lámparas encendidas) la velocidad de inactivación es superior en los filtros con TiO_2 soportado versus los filtros sin catalizador. Las pendientes y las ordenadas al origen de las rectas y sus respectivos errores, los R^2 y los valores F obtenidos de las curvas de inactivación son presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Ajuste lineal, R^2 y valor F de los ensayos de inactivación

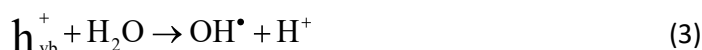
Condición Experimental	Intercepción		Pendiente		R^2	F
	Valor	Error	Valor	Error		
5Lamp-Dep	0,06	0,05	-0,099	0,004	0,990	708,9
4Lamp-Dep	0,03	0,02	-0,080	0,001	0,998	3771,2
3Lamp-Dep	0,00	0,04	-0,057	0,002	0,987	604,6
5Lamp-Dep	-0,10	0,05	-0,047	0,003	0,965	219,9
4Lamp-S/D	-0,01	0,04	-0,038	0,002	0,969	249,2
3 lamp-S/D	-0,08	0,04	-0,034	0,002	0,969	217,6

Se puede observar en la Figura 2 que a medida que se incrementa el tiempo de exposición a la radiación, comienza a disminuir gradualmente la viabilidad bacteriana. Esta pérdida constante de la viabilidad para los filtros con catalizador soportado (principalmente cuando se utiliza el 100% de la radiación del sistema) puede explicarse con el accionar de las especies reactivas del oxígeno (ERO), ya que cuando el TiO_2 es irradiado, la adsorción de un fotón con suficiente energía promueve electrones desde la banda de valencia (e_{vb}^-) a la banda de conducción (e_{cb}^-), dejando un orificio con carga positiva en la banda de valencia (h_{vb}^+):

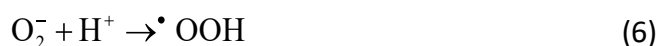
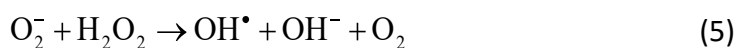


Como los electrones son libres de migrar dentro de la banda de conducción, los huecos

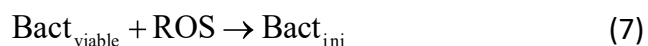
generados pueden ser ocupados por la migración de un electrón de una molécula adyacente (lo que, a su vez, genera un hueco). Este proceso puede repetirse: los electrones y los huecos pueden recombinarse o, cuando llegan a la superficie, reaccionar y generar especies reactivas de oxígeno (ROS), como ion superóxido (2) y radicales hidroxilos (3):



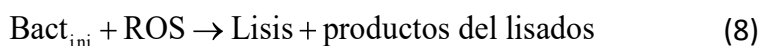
Estas especies además pueden reaccionar para dar peróxido de hidrógeno (4), más radicales hidroxilos (5) e hidroperoxilo (6)



Las especies oxidativas generadas comienzan a atacar la membrana celular de la bacteria viable, la cual se oxida gradualmente, inicialmente el microorganismo ofrece resistencia a este ataque con los mecanismos de reparación automáticos (autodefensa), que implican la generación de enzimas reparadoras. Los ataques repetidos de las especies reactivas de oxígeno, en la membrana de la *E. coli*, una bacteria viable ($\text{Bact}_{\text{viable}}$) pueden dar como resultado una perforación, que implica pérdida de permeabilidad dejando la bacteria injuriada (Bact_{inj}) (7):



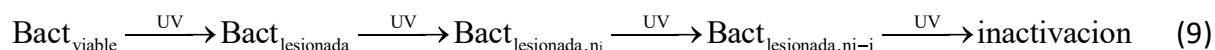
Esto acelera el proceso de inactivación bacteriana, manifestándose un descenso que podría compararse, con una línea recta. Los daños en la pared celular ocurren cuando se incrementa el tiempo de contacto de las bacterias con el TiO_2 esto conlleva a que la barrera impuesta por la membrana externa de lípidos (entre 6 y 18nm de espesor) y la capa de peptidoglicano se averíen severamente por las reacciones fotocatalíticas y/o superficiales, propiciadas por la presencia del TiO_2 (Marugan et al., 2008; Dalrymple et al., 2011; Foster et al., 2011) El daño progresivo de la membrana citoplasmática ocasiona que la bacteria se torne permeable incluso a las moléculas grandes, culminando con la su lisis (8):



A partir de la Figura 2, se puede observar que en los filtros sin depósito existen diferentes periodos de inducción representados por hombro leve y cola. El período de inducción inicial se debe a la resistencia de las bacterias a la acción de la radiación mediante sus mecanismos de defensa. La presencia de hombros o del lag inicial en las curvas de inactivación se ven frecuentemente en organismos que forman agrupamientos o *clumps* (Foster et al., 2011). Esto quiere decir que no se inactiva una célula bacteriana sino una

unidad formadora de colonia. Las curvas de inactivación con hombros pueden ser explicadas por un modelo disfuncional, un modelo multitarget (Severín y Engelbrecht, 1983) o un modelo de eventos en serie (Labas et al., 2009).

Las poblaciones de bacterias expuestas a bajas dosis de radiación requieren una acumulación sucesiva de lesiones, o golpes, para llegar a su límite umbral. Generalmente, cuando las concentraciones de radiación son bajas, los mecanismos de protección de las bacterias son capaces de contrarrestar el daño celular. Sin embargo, una vez pasado el límite umbral, la resistencia disminuye desapareciendo el hombro y mostrando así que los mecanismos de reparación bacteriana no han sido capaces de evitar el efecto de la radiación (bacteria lesionada).



El segundo periodo de inducción, entre los 20-25 minutos de transcurrido el ensayo, se corresponde con una cola en las curvas utilizando filtros sin catalizador soportado. La competencia por los productos de la oxidación subsiguiente del lisado, productos resultantes de las bacterias muertas, con las bacterias activas, pueden contribuir a la aparición de colas. Algunos autores (Coleman et al., 2005; Benabbou et al., 2007) sugieren que este comportamiento se debe al aumento de compuestos producidos por la lisis bacteriana, que causan protección a las bacterias no lastimadas, de modo que no son atacadas efectivamente.

La Tabla 2 presenta un resumen de las condiciones experimentales ensayadas y las eficiencias obtenidas para cada ensayo experimental a los 25 minutos de transcurrido el mismo.

Tabla 2. Datos de eficiencia de inactivación a 25 minutos del ensayo experimental

	5 lámparas	4 lámparas	3 lámparas
1 depósito	99.8%	98.5%	93.25%
Sin depósito	93.3%	88%	88%

Se puede observar en la Tabla 2 que los mayores porcentajes de inactivación bacteriana se obtienen con los filtros con TiO₂ soportados, lográndose el 99.8% de inactivación al utilizar el 100% de la radiación del sistema. A medida que se reduce la intensidad de la radiación, con la disminución del número de lámparas, baja la tasa de inactivación, pudiéndose explicar esto mediante una serie de hipótesis. En primer lugar, la eficiencia cuántica para la generación de radicales en la superficie del catalizador disminuye drásticamente al disminuir los niveles de radiación. Debido a esto, la fotocatalisis heterogénea se torna menos eficiente. Además de generar ERO en la superficie del TiO₂, la radiación está implicada en las lesiones que sufren las células bacterianas en el proceso fotocatalítico, como lesiones de ADN que causan su inhibición y la alteración en las proteínas celulares. Por lo tanto, si disminuye la intensidad de radiación disminuyen los daños a los microorganismos. También es factible pensar que aquellas partículas de TiO₂ que no son activadas debido a la disminución de la intensidad de

radiación pueden actuar protegiendo a las bacterias presentes en los filtros mediante un efecto “pantalla”.

Para los filtros sin catalizador soportado, la explicación es más directa, el daño en las bacterias es acumulativo antes que letal, además si bien se sabe que algunos de los microorganismos son intrínsecamente más resistentes que otros: al disminuir la radiación, pueden sobrevivir en las condiciones estudiadas y, en consecuencia, la desaparición de las colonias será más lenta.

4. CONCLUSIONES

- La fotocatalisis heterogénea es un proceso efectivo en la inactivación de *E. coli*, lográndose un porcentaje de inactivación mayor (99,8%) que cuando solo se utiliza fotólisis. Esta superioridad se mantiene incluso cuando disminuye la intensidad de radiación. Al romper la membrana celular, los microorganismos sometidos a la acción de un fotocatalizador y la radiación UV no pueden repararse. Debido a esto, es un proceso factible de ser utilizado en la desinfección de bioaerosoles patógenos ya que no es posible la fotoreparación.
- Mediante la utilización de esa técnica, es posible realizar ensayos en los que se puedan determinar, en base a las curvas de inactivación y la intensidad de radiación, los parámetros cinéticos de la desinfección. Estos parámetros pueden ser utilizados para desarrollar dispositivos que permitan la desinfección de aire interior.

5. BIBLIOGRAFIA

Arnold, C. (2014). Disease burdens associated with PM2.5 exposures: how a new model provided global estimates. *Environmental Health Perspective*, 122, 12284-12298.

Benabbou, A., Derriche, Z., Felix, C., Lejeune, P., Guillard, C. (2007). Photocatalytic inactivation of *Escherichia coli* Effect of concentration of TiO₂ and microorganism, nature, and intensity of UV irradiation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 76, 257-263.

Blais-Lecours, P., Perrott, P., Duchaine, C. (2015). Non-culturable bioaerosols in indoor settings: impact on health and molecular approaches for detection. *Atmospheric Environmet*, 110, 45-53.

Calderón-Garcidueñas, L., Kulesza, R.J., Doty, R.L., D'angiulli, A., Torres-Jardón, R. (2015). Megacities air pollution problems: Mexico City Metropolitan Area critical issues on the central nervous system pediatric impact. *Environmental Research*, 137, 157-169.

Coleman, H., Marquis, C., Scott, J., Chin, S.-S., Amal, R. (2005). Bactericidal effects of titanium dioxide-based photocatalysts. *Chemical Engineering Journal*, 113, 55-63.

Dalrymple, O., Stefanako, E., Trotz, M., Goswami, D. (2011). A review of the mechanisms and modeling of photocatalytic disinfection. *Applied Catalysis B: Environmental*, 98, 27-38.

Flores, M., Brandi, R., Cassano, A., Labas, M. (2014). Kinetic model of water disinfection using peracetic acid including synergistic effects. *Water Science & Technology*, 69, 358-363.

Foster, H., Ditta, I., Varghese, S., Steele, A. (2011). Photocatalytic disinfection using titanium dioxide: spectrum and mechanism of antimicrobial activity. *Applied Microbiology Biotechnology*, 90, 1847-1868.

- Ghosh, B., Lal, H., Srivastava, A. (2015). Review of bioaerosols in indoor environment with special reference to sampling, analysis and control mechanisms. *Environmental International*, 85, 254–272.
- Labas, M., Brandi, R., Zalazar, C., Cassano, A. (2009). Water disinfection with UVC radiation and H₂O₂. A comparative study. *Photochemical Photobiology Sciences*, 8, 670-676.
- Ministerio de Salud de la Nación. (2017). Mortalidad por Enfermedades Respiratorias en Argentina.
- Marugán, J., van Grieken, R., Sordo, C., Cruz, C. (2008) Kinetics of the photocatalytic disinfection of *Escherichia coli* suspensions. *Applied Catalysis B: Environmental*, 82, 27-36.
- Pablos, C., Marugán, J., van Grieken, R., Serrano, E. (2013). Emerging micropollutant oxidation during disinfection processes using UV-C, UV-C/H₂O₂, UV-A/TiO₂ and UV-A/TiO₂/H₂O₂. *Water Research* 47, 1237-1245.
- Perrino, C., Marcovecchio, F. (2016). A new method for assessing the contribution of primary biological atmospheric particles to the mass concentration of the atmospheric aerosol. *Environmental International*, 87, 108-115.
- Rincón, A., Pulgarin, C. (2004). Effect of pH, inorganic ions, organic matter and H₂O₂ on *E. coli* K12 photocatalytic inactivation by TiO₂: Implications in solar water disinfection. *Applied Catalysis B: Environmental*, 51, 283-302.
- Rosenberg, N., Flores, M., Labas, M. (2018). Desarrollo de una metodología experimental para el estudio de la inactivación fotocatalítica de *Escherichia coli*. XXVI Jornada de Jóvenes Investigadores de AUGM. Mendoza.
- Severin, B., Engelbrecht, M. (1983). Kinetic modeling of U.V. disinfection of water. *Water Research*, 17, 1669-1678.
- Sichel, C., Tello, J., de Cara, M., Fernández-Ibáñez, P. (2007). Effect of UV solar intensity and dose on the photocatalytic disinfection of bacteria and fungi. *Catalysis Today*, 129, 152-160.
- Srinivasan, C., Somasundaran, N. (2003). Bactericidal and detoxification effects of irradiated semiconductor catalyst, TiO₂. *Current Science*, 85, 1431-1438.
- WHO. (2016). Urban Ambient Air Pollution database